Ing. Dr. phil. J. STINY

IZBOR KAMENA ZA GRAĐENJE CESTA

PREVEO:
Prof. Dr. LUKA MARIĆ

ZAGREB
1948

Ing. Mr. Plantić

Ing. Dr. phil. J. STINY

IZBOR KAMENA ZA GRAĐENJE CESTA

PREVEO:
Prof. Dr. LUKA MARIĆ

(sa 42 slike)

ZAGREB 1948

Izdanje Nakladnog zavoda Hrvatske — Redakcija Ministarstva industrije NRH — Odjel za stručno školstvo

Naslov originala:
Die Auswahl und Beurteilung
der Strassenbaugesteine

Ovu je knjigu odobrilo Ministarstvo industrije
i rudarstva Narodne Republike Hrvatske

PREDGOVOR

J. Stiny je u ovoj knjižici kratko obradio glavne metode ispitivanja građevnog kamena, posebno za građenje cesta. Valja naglasiti, da je poučne primjere odabrao iz zemalja, gdje se troše velike količine raznih vrsta kamena za građenje i održavanje cesta i puteva.

Ova knjižica može koristiti i našem podmlatku na visokim i srednjim tehničkim školama, kao i inženjerima, građevnim poduzetnicima i kvalificiranim kamenoklesarima. Oni će u njoj naći mnogo korisnih pouka i uputa u vezi s izborom i ocjenom kamena za ovu ili onu građevnu svrhu. Knjižica će u izvjesnoj mjeri popuniti prazninu, koja još dosada postoji u našoj literaturi ove grane tehničkih nauka.

Prevodilac

UVOD

Za građenje saobraćajne mreže troše se godišnje goleme vrijednosti. Velike količine kamena ugrađujemo u kolnike savremenih cesta. Pogrešan izbor kamena za građenje mogao bi prouzročiti veliko rasipanje narodne imovine. Potreba strogog gospodarenja pri građenju traži i strog izbor sirovina za izgrađivanje naših cesta i puteva. Zato mora inženjer obratiti punu pažnju ispitivanju kamena za cestogradnju.

Ispitivanje kamena za građenje suvremenih cesta vrši se po metodama, koje su već dobro isprobane i udomaćene; ali potrebna su pri tome i takva ispitivanja, koja još nemaju jedinstvene radne metode, i koja još nisu općenito priznata; u znanstvenim zavodima se izrađuje takva jedinstvena metodika ispitivanja. Ali, i ako svi postupci pri ispitivanju još nisu dobili priznanje poznatih stručnjaka, inženjer mora tražiti da se izvrše i ispitivanja po metodama koje danas još nisu potpuno izrađene a koje će vjerojatno tokom vremena biti zamijenjene boljim metodama ispitivanja. Čisto petrografske metode, uz druge metode ispitivanja, spadaju u red vrlo dobro izrađenih metoda. O njima i njihovoj primjeni dali su povoljan sud u zadnje vrijeme Niggli, Klein, Zelter, Burchartz, K. Stöcke i drugi. Još treba bolje izraziti međusobnu ovisnost i povezanost brojčanih podataka ispitivanja s praktičnim ponašanjem i izdržljivosti kamena u zastoru kolnika ceste. Petrografska ispitivanja daju međutim već danas korisne podatke i bez brojčano izraženih vrijednosti, potrebnih za pravilnu primjenu kamena; štoviše u mnogo primjera daju podatke, koji potpuno zadovoljavaju.

Metode ispitivanja prirodnog kamena moraju se, razumljivo je, prilagoditi zahtjevima, kojima je kamen izložen u zastoru kolnika ceste. Treba naglasiti, da je potrebno, po mogućnosti, do-

biti točne vrijednosti, koje je moguće uspoređivati; podaci koji se ne mogu među sobom uspoređivati, zbog nejednakog postupka ispitivanja, ne služe ni nauci ni građevinarstvu.

Ispitivanje kamena za građenje cesta može se vršiti u dva smjera, po dva različna postupka. Jednim postupkom ispituje se sastav kamena, neovisno o primjeni i poređenju s drugim vrstama i s drugih nalazišta, a drugim postupkom ispituje se tako, da se kamen podvrgava po mogućnosti uslovima, kakvi će biti na mjestu na kome ćemo kamen ugraditi. Takva ispitivanja idu dakle za tim, da se na osnovi dobivenih podataka može što pravilnije predvidjeti primjena nekoje vrste kamena. Suvremena cestogradnja se koristi podacima obaju načina ispitivanja.

Kamen je u cesti izložen opetovanom pritisku (već pri valjanu) i udaranju. Mirno (statičko) opterećenje zaostaje znatno za promjenljivim (dinamičkim) opterećenjem. Kolnik ceste mora biti otporan prema razaranju, koje mogu vršiti kotači trenjem, djelomično također i otkidanjem čestica i njihovim podizanjem i odbacivanjem s površine ugrađenog kamena. Na takav kamen djeluju i vremenske nepogode: kiša, sunce, vjetar, toplina i hladnoća, suša i vlaga. Ispitivanje kamena za građenje cesta mora se dakle prilagoditi svima zahtjevima, kojima treba da udovolji kolnik jedne suvremene ceste. Pri tome se dakako mora pomišljati i na druga razna, manje ili više važna, ispitivanja. Budući da zahtjevi mirnog opterećenja kolima jedva dolaze ozbiljno u obzir, pri ispitivanju građevnog materijala za kolnik suvremene ceste, mora se težiti u glavnom, ili isključivo, za upoznavanjem djelovanja promjenljivih (dinamičkih) učinaka. Opetovano određivanje čvrstoće bilo bi samo po sebi bez vrijednosti. Za sva takva ispitivanja postupci su, na žalost, manje više nepotpuno izrađeni, nisu općenito priznati, i teško se primjenjuju. Zbog toga je još uvijek potrebno iz statičkih podataka ispitivanja stvarati zaključke o izdržljivosti kamena na dinamičke učinke. Sve to zajedno upućuje, da ispitivanja građevnog kamena treba u spomenutim pravcima sve više usavršavati.

A. ISPITIVANJE PROSTIM OKOM

Nekoja svojstva građevnog kamena možemo odrediti već i prostim okom. Tako njegovu boju, vanjski izgled, raspucanost (u velikom), prelom i svojstva površine na prelomu.

1. BOJA

Ni jedno jedino svojstvo kamena ne zavisi općenito i neposredno od boje.

Inženjeri koji daju prednost kamenju tamne boje nemaju nikakvog uvjerljivog razloga za takvo stanovište. Crni vapnenjak ili krečnjak ili tamni dolomit su za suvremeno građenje puteva neuporabivi (na pr.: zgnječen dolomit iz Koruške); naprotiv, bijele i svijetlo bojene vrste kamena imaju općenito neke prednosti; bolje ocrtavaju primjerice put noću ili u tunelu.

Vještom oku međutim odaje boja često neka druga svojstva; u pojedinim primjerima ona odvraća inženjera od upotrebe neke vrste kamena. Boja je osobito značajna za pojave površinskog trošenja.

Tako primjerice ako glinenac ili feldspat, koji u svježem stanju ima sjajnu površinu i čistu boju, pokazuje u uzorku mutnu površinu na plohama kalavosti ili cjepljivosti. Rđaste mrlje i rđaste površine su sumnjive; ako su od limonita, koji je oksidacijom nastao od crnog tinjca (biotita), klorita, glaukonita i t. d., tad doduše ne postoji nikakva izravna opasnost za kamen; dakako takvi znakovi početnog trošenja silikatnih minerala nisu povoljni; oni isključuju primjenu kamena, ako je limonit nastao rastvaranjem sulfida (pirita i t. d.). U zoni poremećaja prodire površinsko trošenje vrlo duboko u kamenu masu; ono se odaje već izdaleka po boji kamena.

Svakako je sumnjiva mutna ili pjegasta površina na prelomu kamena. Doduše ima i svjež kamen često pjege (na pr. granit,

sijenit, diorit i t. d.), one su tada manje ili više sjajne i jasno ograničene.

Kamen koji se nalazi u početnom stanju trošenja ima obično mutne i nečiste boje; obrnut zaključak nije uvijek potreban (na pr. u mnogih andezita, bazalta, dijabaza, amfibolita). Svakako svijetle i čiste boje su uvijek znak svježine nekog kamena.

2. VANJSKI IZGLED

Po prostornom rasporedu mineralnih sastojaka, koji može biti **nepravilan** ili **pravilan,** ustanovljujemo vanjski izgled nekog kamena. Vanjski izgled je **nepravilan** ili **pravilan.**

Kamen ima **nepravilan** vanjski izgled kad su mu mineralni sastojci bez reda i među sobom posve nepravilno porazmješteni. Kamen s nepravilnim vanjskim izgledom je za suvremeno građenje puteva najpogodniji.

Vanjski izgled kamena je **pravilan,** kada mineralni sastojci imaju izvjestan pravilan razmještaj. Zbog toga nastaju na površini preloma neki pravilni oblici poput figura. U koliko je izgled kamena pravilniji, u toliko ga graditelj puteva rjeđe upotrebljava.

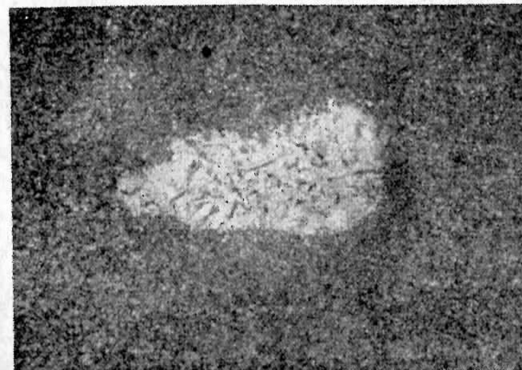
Prema manje ili više pravilnom rasporedu mineralnih zrna razlikujemo slijedeće glavne oblike vanjskog izgleda kamena:

Škriljav vanjski izgled. Listićavi mineralni sastojci su djelovanjem pritiska jednako usmjereni stvarajući svojim paralelnim položajem škriljave plohe. Škriljav vanjski izgled imaju prije svega t. zv. kristalasti škriljci; zbog svoga mineralnog sastava i jako izrazitog škriljavog izgleda, najveći dio takovih stijena neuporabiv je za građenje suvremenih puteva (na pr. pločast oblik zrna).

Fluidalan vanjski izgled. Listićavi, prutićasti ili pločasti minerali bili su, na neki način, porazbacani u lavi; oni su pri ohlađivanju i skrućivanju lave zadržali u stijeni svoj položaj, sličan položaju stabala kad ih nanese voda.

Kamen s fluidalnim vanjskim izgledom nije tako pogodan za građenje cesta, pogotovo kad to zapažamo već prostim okom; mikroskopski fluidalan vanjski izgled ne umanjuje po pravilu vrijednost kamena za pomenutu svrhu.

Pjegav vanjski izgled imaju stijene uslijed mjestimično različitih mineralnih sastojaka; tako su se primjerice u eruptivnoj stijeni okupili na jednom mjestu crni, a na drugom bijeli mineralni sastojci (sl. 1.), uzrokujući pjegav vanjski izgled na površini

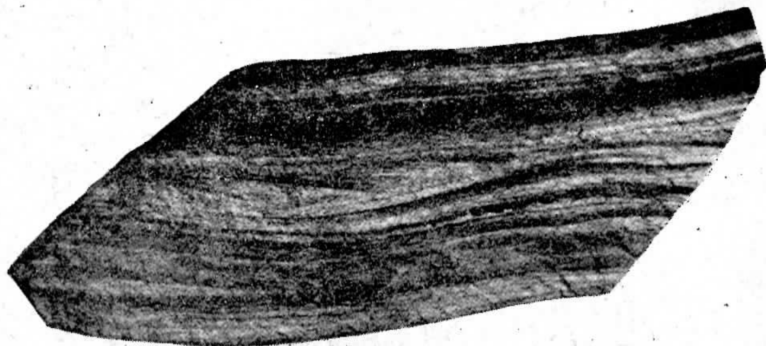


Sl. 1. Pjegav vanjski izgled; svijetla pjega ima malo bojenih mineralnih sastojaka. Diorit od Wieselburg-a ima mnogo svijetlih pjega.

stijene. Takve nakupine mineralnih sastojaka mogu imati oblik kugle, klupka, pa šaroliko-prugast izgled i t. d. Nakupine minerala su za tehničku primjenu kamena u toliko pogodnije u koliko je blaži prijelaz između njih i glavne mase stijene; ako su takve nakupine minerala oštro ograničene i izdvojene tad osjetljivo utječu i znatno umanjuju čvrstoću kamena.

Slojevit vanjski izgled je značajan za taložne stijene; nastaje slaganjem slojeva u istom smjeru i jednake građe. Ako su slojevi moćni, debeli, tad mogu korisno poslužiti kao kamen za građenje suvremenih cesta; ako su slojevi tanki (tanko slojeviti izgled, sl. 2.), tad su za građenje cesta neuporabivi (pločasti i lupinasti oblici zrna). Tako je isto s **prugastim vanjskim izgledom;** tamo se smjenjuju razno bojeni proslojci, u kojima se nalaze mineralni sastojci u raznim količinama (sl. 3.).

Protivno prugastom izgledu, gdje proslojci teku uporedo s glavnim slojanjem, stvaraju poprečne i međusobom kose i okomite mineralne žile, **žilast vanjski izgled;** tako nejednako



Sl. 2. Tanko-slojevit izgled umanjuje vrijednost kamena za građenje cesta.

izukrštane žile uzrokuju i nejednako mehaničko trošenje (sl. 6.). Ukrštanjem takvih mineralnih žilica u nizovima na slojnim površinama nastaje **mrežast vanjski izgled** (sl. 4.). Žile predstavljaju

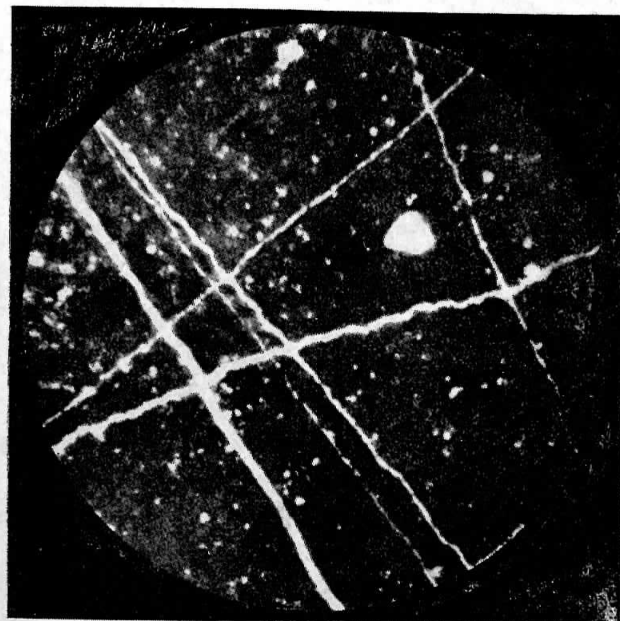


Sl. 3. Prugast vanjski izgled. Prugast amfibolit iz doline Bele u Koruškoj. Kamen je uporabiv kao lomljenik i za suho zidanje; slabiji je za tucanik.

»zacijeljene« pukotine, i ukoliko su one ispunjene dobrim i na zidovima čvrsto priraslim vezivom (kalcit, kremen i t. d.), one ne umanjuju tehničku vrijednost kamena; inače kamen puca

lako duž takvih pukotina i zbog toga se ne može upotrebiti za tucanik.

Kuglast vanjski izgled imaju stijene, koje se lako lučenjem raspadaju u kugle razne veličine. Takav vanjski izgled imaju mnogi bazalti i melafiri, koji se pod uplivom sunčeve topline raspadaju (t. zv. »Sunčane pjege«; vidi str. 68); kuglasti vanjski izgled je u izvjesnoj mjeri sličan sitno pjegastom vanjskom izgledu.



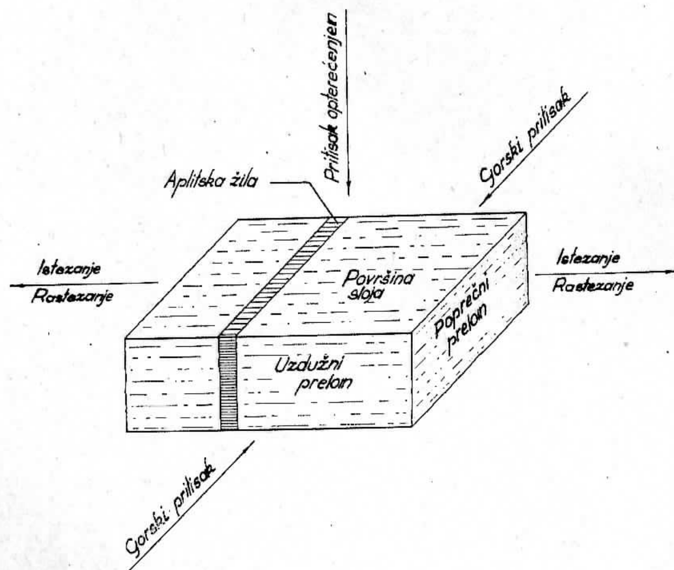
Sl. 4. Mrežast vanjski izgled smanjuje kamenu čvrstoću na pritisak. (Izbrusak lapora)

Vanjski izgled je najbolje istražiti u samom kamenolomu, a ne na pojedinim uzorcima. Vanjski izgled kamena može se mijenjati dosta naglo i na istom nalazištu. Raspored minerala može se utvrditi u mnogim stijenama (mramorima i t. d.) često tek zamršenim mjerenjem položaja kristalno-optičkih elemenata pod mikroskopom; za takva istraživanja vrlo su zaslužni

Bruno Sander i Walter Schmidt. Graditelju puteva je nevidljivi pravilan izgled kamena manje važan od vidljivog izgleda. U svakom slučaju može se mikroskopski lako i brzo ustanoviti.

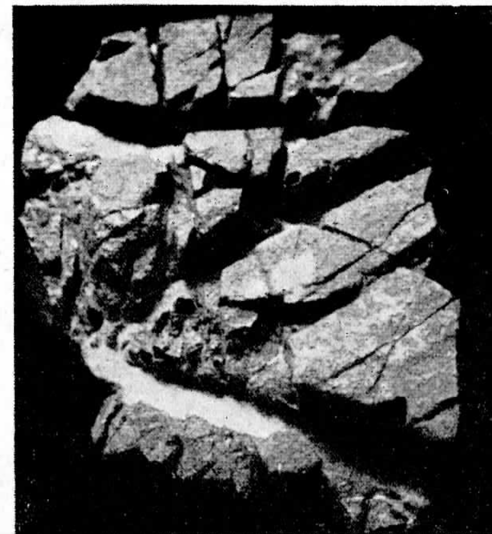
3. PRELOM I SVOJSTVO POVRŠINE NA PRELOMU (HRAPAVOST)

Razbijemo li komad kamena tad unutarnju površinu, odnosno površinu na prelomu nazivamo kratko **prelom kamena.** Površine na prelomu kamena s nepravilnim vanjskim izgledom svugdje su jednake. U slojevitih i škriljavih stijena površine preloma su nejednake i mogu se svrstati u dvije ili u tri skupine. Prelom može prolaziti uporedo slojnim plohama ili škriljavim plohama. Prelom okomit na slojne plohe nazivamo **poprečni**



Sl. 5. Glavne površine otkidanja magmatskog kamena, na pr. granita. Škriljasta stijena otkida se duž površine sloja. Prelom po dužini i poprečno na sloj nazivamo uzdužni i poprečni prelom; tada treba »Pritisak opterećenjem« zamijeniti izrazom »Gorski pritisak«.

prelom. U škriljatim stijenama, koje su bile pod pritiskom (kao uvaljane), i osim toga razvučene, razlikujemo poprečni prelom u užem smislu i **prelom po dužini.** Poprečni prelom u užem smislu pada okomito na slojevitost i duguljasti minerali su položeni prema njemu svojom užom čeonom stranom, a dužom stranom stoje okomito na taj prelom, Prelom po dužini poklapa se sa smjerom padanja sloja; u taj pravac padaju često i duže osi produljenih minerala.



Sl. 6. Kukasto trošenje kremenog pješčara iz južnog Tirola. Rebra od kalcita otapaju se brže nego masa tog pješčara s kremenim vezivom. Ne smije se zamijeniti s kukastim prelomom!

Pri ocjeni preloma kamena treba promatrati oblik i svojstva površine preloma (glatkoća, hrapavost). Oba svojstva su važna za cestogradnju.

Za opisivanje vanjskog oblika površine preloma služimo se slijedećim izrazima, među kojima postoje raznovrsni prijelazi.

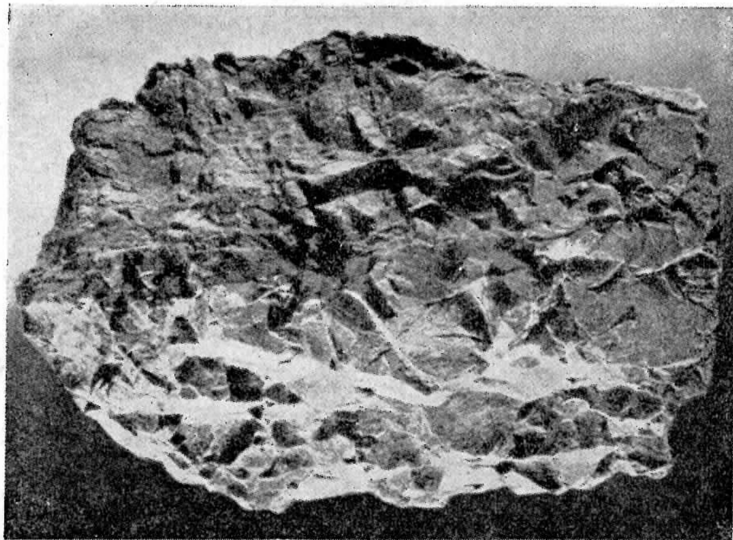
Ravan prelom; na pr. glavne površine preloma u mnogim slojevitim i škriljavim (kvarcitni škriljac, vapneni škriljac), kao i u prugastim stijenama (prugasti mramori, amfiboliti i t. d.).

Neravan prelom, i to zemljast, prhak, s blagim udubinama i izbočinama; prelazne vrste predstavljaju:

grubo i fino zemljast neravan prelom u mnogim glinovitim krupno i finozrnim pješčarima;

valovito izbočen prelom s jače izraženim izbočinama i udubinama, na pr. u stijenama sa kvržastim vanjskim izgledom;

jamičasto-kvrgast prelom s dubljim jamicama i većim kvržicama;



Sl. 7. Kukast prelom. Glavni dolomit.

jamičast prelom bez pravih kvržica i s blažim oblicima među jamicama;

sočivasto-uzlast prelom, s poluravne površine preloma izdižu se sočivca (na pr. u sočivastim i kvržastim gnajsevima);

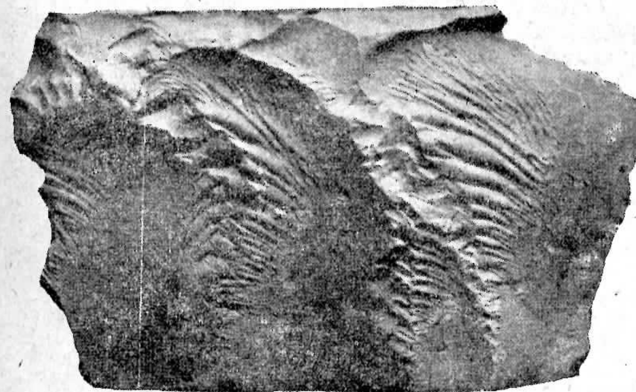
rebrast prelom na gruboj površini preloma nalaze se istosmjerne rebraste uzvisine (u mnogim kristalastim škriljcima);

kukast prelom u kremenim škriljcima, gustim vapnovitim laporima, mnogim dolomitima (sl. 6. i 7.);

rascjepkan prelom, glavna površina preloma je pokrivena malim česticama, koje se debljom stranom još čvrsto drže, a tanjom stranom su se već otkinuli. Podvrste predstavljaju:



Sl. 8. Plitko školjkast prelom. Laporast vapnenjak malma od Solnhofen-a i t. d. (Fot. dr. A. Kieslinger).

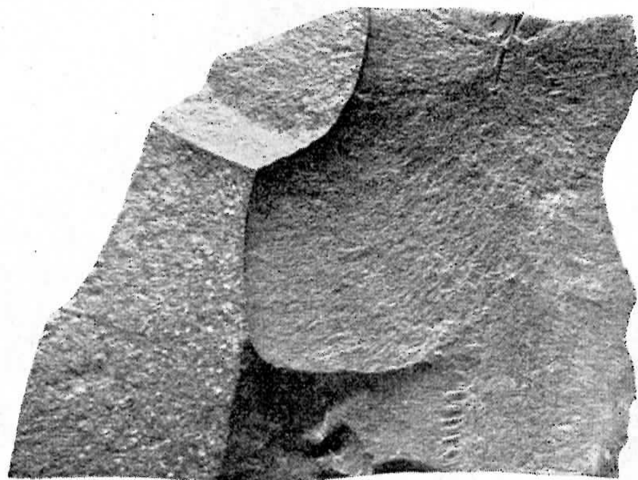


Sl. 9. Školjkast izbrazdan prelom. Laporast vapnenjak malma od Solnhofen-a i t. d.

grubo rascjepkan prelom, rožnac, serpentin; **fino rascjepkan prelom,** mnogi kremenovi škriljci;

školjkast prelom, s udubinama poput zdjelica; na rubovima s valovitim obručima ili finim snopovima brazda (sl. 9.). Podvrste predstavljaju: **plitko - školjkast prelom,** u vulkanskim staklima, mnogim vrstama vapnenih lapora (sl. 8. i 10.), lomljenjem daje ponajviše nepoželjne krhotine, ljuskaste komade; **duboko-školjkast prelom.**

Oblik površine preloma zavisi osim toga i od vrste oruđa, kojim se kamen obrađuje (Kieslinger 1932.). Za obradu kamena upotrebljava se zbog toga i razno oruđe.



Sl. 10. Plitko školjkast prelom. Lapor fliša iz Gspöttgraben-a, Wien.

E. Marcotte (1928). razlikuje 48, odnosno 51 oblik površine preloma (Cassures); gore spomenuti će biti dovoljni za najnužniju upotrebu.

Osim oblika površine preloma važan je i stupanj hrapavosti na površini preloma. Hrapavost površine kamena je u suvremenoj cestogradnji važna (moć primanja veziva). Hrapavost je dijelom vezana za veličinu i oblik zrna, koja strše iz površine preloma, a dijelom je vezana za hrapavost samih zrna i njihove pukotine kalavosti. Teško je neposredno izmjeriti hrapavost; za to je već pronađen postupak, ali nije još općenito priznat. Inženjer Kramrisch je izradio odgovarajući postupak u tehn.-geol. institutu tehn. visoke škole u Beču. Evo njegovog vlastitog opisa:

»Oblik prelomljene površine stijene određujemo po njezinoj neravnosti i hrapavosti. Neravnost, to je površina preloma uopće, a hrapavost, to je površina preloma obzirom na količinu i veličinu površine malih oblika. Hrapavost se može izraziti odnosom između dužine krive linije njezinog profila i dužine karakteristične krive linije profila neravnosti.

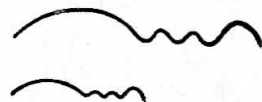
Snimanje takvih profilnih linija vrši se na slijedeći način: od izvjesne prelomljene površine kamena pravi se odljevak, koji mora ispuniti ove uslove: potpuno se dotaknuti cijele površine preloma; kamen ne smije zadržati ni najmanje čestice mase od koje se pravi odljevak; elastičnost mase za pravljenje odljevka mora biti takva, da se i njezinim rezanjem zadrži vjerno oblik površine preloma. Takvim zahtjevima odgovara upravo u idealnom smislu »Negocoll«, u vodi topiv koloid, prema postupku odlijevanja prof. Pollera. Odljevak se zbog sušenja mase mora odmah izrezati mikrotomom u tanke pločice (debljine 0,02 mm) okomito na njegovu površinu, da dobijemo čiste i jasne linije profila. Takve jako svježe prereze s krivuljama profila fotografiramo i po potrebi povećavamo pomoću projekcionog aparata. Prednost je ove metode rada u tome, što uzorak stijene ostaje neoštećen, što se s odljevka može izabrati koje god mjesto, i što se mogu dobiti vjerne linije profila s najvećom, koliko je uopće moguće, točnosti. Pri iskorišćivanju linija profila možemo pažljivim izborom linije neravnosti znatno povećati točnost veličine, kojom se izražava hrapavost«.

U grubo hrapavih površina možemo srednju liniju krivulje hrapavosti smatrati linijom neravnosti, a kad je površina više ravna a manje hrapava, jednostavno graničnu liniju (bilo gornju bilo donju).

Stupanj hrapavosti, koji predstavlja razmjer između dužine linije hrapavosti i dužine linije neravnosti može da varira između 1—20. Na pr.:

$$\frac{\text{dužina linije hrapavosti}}{\text{dužina linije neravnosti}} = 1{,}05 \ldots . \text{ stupnjeva } 5$$

Dakako treba istraživati da li su određeni stupnjevi hrapavosti i vrsta hrapavosti u skladu s izrazima kojima ih nazivamo. Tako isto treba utvrditi odnos svih pojedinih stupnjeva hrapavosti prema vrstama stijena, zatim razlike, koje nastaju u odnosu pomenutih stupnjeva obzirom na veličinu zrna u pojedinim vrstama stijena. To nastojanje treba da dnevnu građevinsku praksu oslobodi od mučnih i dugotrajnih istraživanja, i da joj pruži pomagala da može čisto makroskopski stručno odrediti i stupanj hrapavosti građevnog kamena.



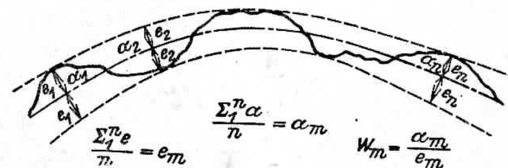
gore = 1, dolje = 2.
Sl. 11.

Stupanj hrapavosti ne daje neku savršenu sliku o hrapavosti prelomljene površine kamena. To je odnos, koji je za svaku sličnu ili povećanu sliku stalan. Za praktičara međutim nije svejedno da li stupanj hrapavosti 6 odgovara na pr. primjerku površine kamena 1 ili 2 na sl. 11. Ove dvije vrste kamena vezat će se, sigurno je, različito s određenim spojivim sredstvima. Ovdje nam može pomoći veličina, koja pokazuje vrijednost za valovitu površinu, a izražava se sa: $W_m = \frac{a_m}{e_m}$ /m = srednji, sl. 12.), I ova je vrijednost skalarna, ali razlomak ipak daje u prirodi stvarne vrijednosti. Osim toga, ako matematske vrijednosti izvjesnog stupnja hrapavosti usporedimo sa stvarnom hrapavosti, možemo time odrediti veličinu i mnogostrukost raščlanjenosti površine.

Neravnost nikako nije jednaka hrapavosti, jer neravnost ne možemo predstaviti jasnom slikom kao hrapavost.

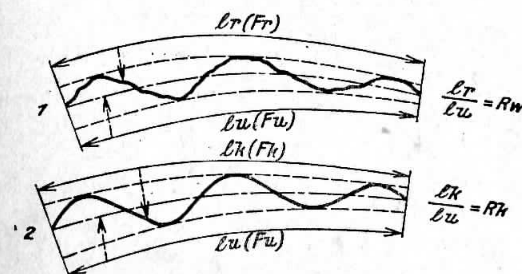
Mnogo je bolje, da izradimo točnu, i ako opću, karakteristiku oblika površine (dakle karakteristiku, koja ne sadržava mnogo sitnih podataka) i tada po njoj jednolično nazivamo oblike.

U ovom slučaju zanimljivo je navesti nešto o povećanju površine preloma kamena zbog povećanja hrapavosti (sl. 13.). Vrijednost valovitosti profilske linije 1, koja prilično nepravilnim poređajem zrna predstavlja srednji oblik površine, odgovara oblikom krivulji 2. Veličina površine približuje se zbroju kalota (udubljenih kao i izbočenih). Svakoj brojci valovitosti odgovara matematski određena hrapavost. Površina koju sačinjavaju ka-



Sl. 12. Određivanje i poređivanje hrapavosti kamena pomoću veličine zatalasanosti.

lote na prelomu kamena može se izraziti jednadžbom: $F_K = F_U \cdot A \cdot R_K$, pri čemu se faktor A za svaku valovitost dade izračunati. Hrapava površina izražava se jednadžbom: $F_R = F_U \cdot A \cdot R_W$. Budući da je R_W stvarna hrapavost, nešto veća od hrapavosti krivulje 2 (R_K), treba tu međuvalovitost kao povećanje površine uzeti u račun. Takav postupak daje vrijednosti, koje su približno jednake stvarnom stanju. Tako nam se pruža



Sl. 13. Zamjena linije stvarne hrapavosti 1 sa linijom 2, koja može prileći uz nju.

mogućnost da istražimo jako djelovanje vode, zraka i drugih tvari na kamen, kao i povećanje sposobnosti vezanja zbog povećanja površine kamena.

Za posredno određivanje stupnja hrapavosti ima više prijedloga (Tornquist, Dow i t. d.); vidi o tom poglavlje 19.

Za opisivanje površine obzirom na hrapavost služe slijedeći izrazi:

glatka: površinu prelazeći noktom ne osjećamo hrapavom (kremenov škriljac, rožnac, mnogi kvarcitni škriljci);



Sl. 14. Mjehurasto-hrapava površina bazalta. Nuraghe na putu za stanicu Torralba-Thiesi, Sardinija. (Fot. autora 1929.)

sitno hrapava (zemljasto hrapava): u mnogih gustih vapnenjaka, lapora i t. d.;

pjeskovito hrapava (zrnasto hrapava): na pr. pješčari zahvaćeni trošenjem, dolomiti;

podvrste: { **sitno pješčano hrapava** / **krupno pješčano hrapava;** }

listićavo hrapava: u kamenu se nalaze mnogobrojna zrna minerala, koji se kala smjerom jedne plohe (kao na pr. tinjac ili liskun): na pr. tinjčev škriljac ili mikašist;

vlaknasto hrapava: u stijenama bogatim vlaknastim mineralima; tako na pr. na površini amfibolita sa vlaknastim amfibolom. Vlaknasta hrapavost uzrokuje manje ili više i lijep svilast sjaj (aktinolitov škriljac). Duže osi vlaknastih minerala padaju približno u isti smjer;

staničasto-hrapava: površina na prelomu ima udubine, koje su međusobom odijeljene tankim pregradama (staničast dolomit);

mjehurićasto hrapava: udubine su na prelomljenoj površini odijeljene debelim pregradama (troskasti bazalti, sl. 14, andeziti i t. d.).

B. ISPITIVANJE PROSTIM OKOM I MIKROSKOPOM

Mnoga ovdje navedena istraživanja mogu se izvršiti prostim okom; za guste i sitnozrne stijene moramo se svakako poslužiti mikroskopom.

4. VELIČINA ZRNA

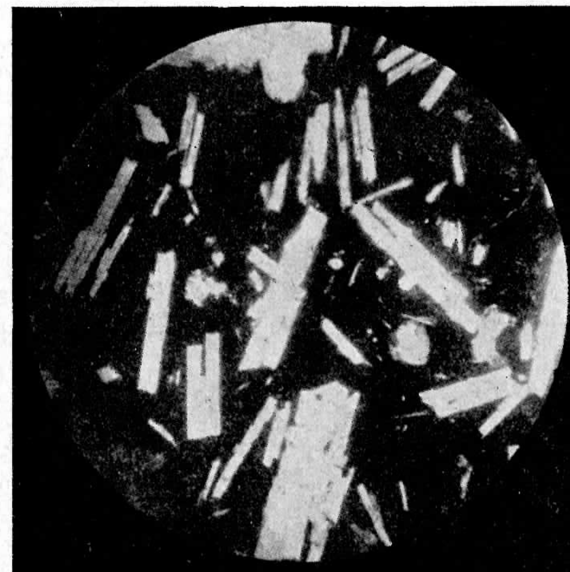
Veličina zrna utječe odlučno na primjenu kamena u cestogradnji. Za klasifikaciju rastresitih kamenih masa postoje različite norme. Za čvrste stijene naprotiv nema zajedničke podjele prema veličini njihovih mineralnih sastojaka. Za njih se može predložiti slijedeća nomenklatura:

Magmatske stijene		Sedimentne stijene	
promjer zrna	oznaka	promjer zrna	oznaka
< 0,1 mm	gusta	< 0,1 mm	gusta
0,1— 2 mm	finozrna	0,1 —0,25 mm	finozrna
2 — 3 „	sitnozrna	1/4— 3/4 „	sitnozrna
3 — 5 „	srednjezrna	3/4— 5/4 „	srednjezrna
5 —10 „	manje krupnozrna	5/4— 2 „	manje krupnozrna
10 —15 „	više krupnozrna	2 — 5 „	više krupnozrna
> 15 „	grubozrna	> 5 „	grubozrna

Zrna mogu biti u nekoj stijeni jednaka; tad je nazivamo **stijenom sa jednakim zrnom;** razlika u veličini zrna je dozvoljena za 1½ promjera zrna; ako je razlika veća od 1½ ali manja od 3-struke srednje veličine promjera, tad je nazivamo **stijenom sa nejednakim zrnom** (u pravom značenju riječi). Ako

je razmjer srednjih veličina promjera zrna veći tad se govori o **porfiroidnoj** ili **porfirskoj** stijeni, dakako prema tome da li se osnovna masa može ili ne može ispitati prostim okom.

Pri određivanju raspodjele zrna po veličini postupa se različno, prema tome da li se radi o čvrstim ili rastresitim stijenama.

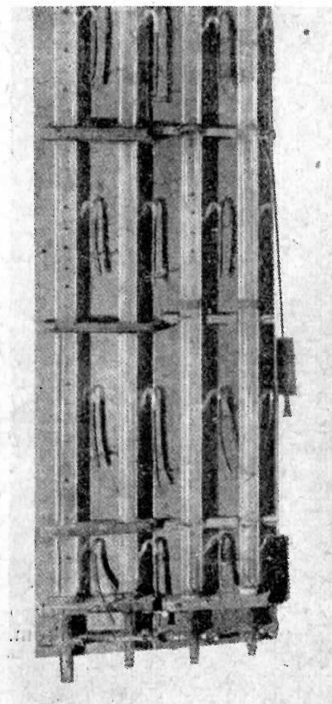


Sl. 15. Porfirska struktura. Štapićasti glinenci (plagioklasi) uloženi su kao utrusci (fenokristali) u osnovi, čije sastojke ne razlučujemo prostim okom. Bazalt iz južnog Tirola.

a) Odjeljivanje zrna po veličini u rastresitim masama

Skupni uzorak zemlje, pijeska, šljunka i t. d., osušen na približno 110° C i odvagnut, treba prosijati, mokar mješajući ga pod vodovodom; manje čestice odstranimo pažljivo i potpuno od većih komada. Prosijavanje započnemo obično najvećim, i prema sastavu mase najpogodnijim promjerom sita i nastavimo do promjera zrna 0,2 mm. Sita su građena prema DIN 1171 ili

prema American Society for Testing Materials; da dobijemo srednje vrijednosti treba prosijati dva do tri uzorka materijala. Prosijane ostatke osušimo i ponovo prosijavamo. Prosijani materijal (< 0,2 mm) podvrgava se običnom muljenju (jednostavnim sedimentiranjem i mućkanjem u staklenim posudama, po postupku Wiegner-a, Atterberg-Stiny-a, isisavanjem, izbacivanjem rotacijom i dr.).



Sl. 16. Cijevi za muljenje pričvršćene na drvenoj ploči.

Poboljšanim postupkom po Wiegneru i isisavanjem radi se najbrže i najjednostavnije. Cijev za muljenje po Attenberg-Stiny-u (sl. 16.) ima prednost pred drugima, jer se pojedine odvojene skupine zrna mogu dalje istraživati. Evo kratkog opisa:

»Posuda za muljenje je staklena cijev, visoka 3 m, s promjerom 50 mm i sadržinom 5—6 litara. Na udaljenosti 30 cm od gornjeg ruba nalazi se lagano suženo grlo s pristalim dobro brušenim staklenim čepom. Čep se može na žici dizati i spuštati. U razmacima 3, 7, 12, 17, 22, 26 dm po sredini od donjeg suženja pritaljene su na cijevi teglice. Na njih kao i na donji kraj cijevi nataknuta su kratka gumena crijeva zatvorena štipaljkama. Cijev najprije napunimo vodom do grla i čep dobro zatvorimo. Tada saspemo 30—50 gr probnog uzorka (smrvljenog prstima ili tresenjem) u prazni dio cijevi povrh grla. Pokus počinje otvaranjem čepa i naglim sipanjem probnog uzorka. 24 sata poslije prvog muljenja, (22½ minute poslije drugog i 45 sekunda poslije trećeg) otvara se prva teglica. Ostale teglice slijede prvu u određenim vremenskim razmacima. Talog koji se slegne pri prvom muljenju ponovo se mulji i t. d. Tako se na pr. pri drugom muljenju, otvaranjem prve teglice poslije 22½' nalaze

iznad visine teglice samo čestice s vremenom sedimentacije manjim od 22½' : 3 = 7½' po dm visine, a ispod visine teglice sve čestice sa vremenom sedimentacije većim od 7½' po dm visine. Kod teglice II dobije se tada ½' kasnije sve čestice od 7½' po dm do 23 : 7 = 3' 17" po dm visine sedimentacije. Zaostaci poslije isparivanja vode, osušeni ukupno do 110° C sadržavaju sumu svih čestica, od onih sa najkraćim vremenom sedimentacije po dm do onih njima najbližih po veličini i vremenu sedimentacije. Iskorišćenje podataka muljenja postiže se najbolje sa grafikona pomoću linije rezultata. Na apscisu se nanosi vrijeme sedimentacije po dm, a na ordinatu brojke količina u postocima. Dio »mulja« (finodisperzne čestice) odredi se iz razlike ordinata između 7½' po dm visine sedimentacije. Na isti način može se izdvojiti svaki dio materijala određene veličine zrna.

Ako nije potrebno dalje odjeljivanje materijala po veličini zrna ispod 0,02 mm, tad se prosijavanje obavlja samo do tog promjera zrna, i pri tome se uštedi muljenje; veću točnost ne možemo očekivati od prosijavanja materijala sa promjerom ispod 0,02 mm. Točnije se radi postupkom ispiranja (na pr. po Kopeckom).

Andreasen A. H. M. (1930.) izražava veličinu zrna rubom kockice, koja ima isti volumen kao zrno. Za takvo određivanje odvagne malu količinu materijala, promiješa je u određenoj količini glicerina i saspe u posudicu za brojenje, koja ima dno sa površinom 256 cm². Po sedimentaciji prebroji zrna na određenom dijelu površine (približno 100 do 200 zrna).

Razlike u promjeru zrna kod prosijavanja kroz sita sa kvadratičnim i okruglim otvorima prikazuju siljedeći podaci po Heeb-u (Der Strassenbau, Halle a. d. S., 15. aprila 1932.).

Srednji promjer d_m izračunat po pojedinim jednadžbama

Prosijane frakcije d_1 d_2	$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$		$d_m = \frac{2 d_1 d_2}{d_1 + d_2}$		$d_m = \sqrt[3]{2 \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$	
	Vrsta sita obzirom na oblik rupica					
	sa četvero-uglatim otvorima	sa okruglim otvorima	sa četvero-uglatim otvorima	sa okruglim otvorima	sa četvero-uglatim otvorima	sa okruglim otvorima
K_{00} 0,0 do 0,06 mm	0,03	0,033	—	—	—	—
K_0 0,06 do 0,088 mm	0,074	0,082	0,071	0,079	0,072	0,08
K_1 0,088 do 0,2 mm	0,144	0,162	0,122	0,138	0,13	0,145
K_2 0,2 do 0,6 mm	0,4	0,462	0,3	0,34	0,33	0,377
K_3 0,6 do 3,0 mm	1,54	1,85	0,968	1,14	1,16	1,33
K_4 3,0 do 10,0 mm	5,3	6,5	3,82	4,62	4,26	5,16
K_5 10,0 do 20 mm	11,72	15,0	10,6	13,35	11,0	13,85

Njemačka sita

Sita po DIN 1170; s okruglim otvorima u mm	Sita po DIN 1171		
	promjer četverouglatih otvora u mm	broj otvora po cm²	mreža br. (žica po cm)
100	1,5	16	4
90	1,2	25	5
80	1,0	36	6
70	0,75	64	8
60	0,60	100	10
50	0,54	121	11
40	0,49	144	12
30	0,43	196	14
25	0,39	256	16
20	0,30	400	20
18	0,25	576	24
15	0,20	900	30
12	0,15	1600	40
10	0,12	2500	50

Naziv prosijanog materijala u Njemačkoj (po Wieland G. i K. Stöcke-u)

Naziv prirodnog materijala		Naziv usitnjenog materijala		Zrnatost: Ostatak na situ	Zrnatost: Prosijano
				sa kvadrat. ili okrugl. otvor. u mm	
Pijesak	fini pijesak 0,06	Kameno brašno	kameno brašno 0,06	—	0,06 (100) [1]
	" " 0,06–0,09		" " 0,06—0,09	0,06	0,09 (70)
	" " 0,09–0,2		" " 0,09–0,2	0,04	0,2 (30)
	sitni pijesak 0,2–1,0	Lomljen pijesak	lomljen pijesak, sitno 0,2—1,0	0,2	1 (6)
	krupni pijesak 1,0—3		" " krupno 1,0—3,0	1	3
Šljunak	sitni šljunak 3—7	Kamena sitnež	kamena sitnež, fina 3—7	3	7
	" " 7—10		" " " 7—10	7	10
	" " 10—15		" " krupna 10—15	10	15
	" " 15—30		" " " 15—30	15	30
	krupni šljunak 30—40	Šljunak	šljunak fini 30—40	30	40
	" " 40—50		" krupni 40—50	40	50
	" " 50—60		" " 50—60	50	60
	" " 60—70		" " 60—70	60	70
Ostatak na situ . . . . > 70		Ostatak na situ . . . . . > 70		70	
Sitni pijesak . . . . . < 30					
Krupni pijesak . . . . < 70					

(Ostatak na situ: 0,06–0,2 kvadrat. otvora; 1–70 Veličina okruglih otvora. Prosijano: 0,06–0,2 kvadrat. otvora; 1–70 Veličina okruglih otvora.)

[1] Žica na 1 cm

Norme za zrnatost (otvori sita u mm)

ÖNORM B 3106			DINORM 1995	
kameni prah, brašno		0,01 0,05 0,086	brašnast pijesak, brašno	0,06 0,09
		0,2		
Pijesak	fini srednji krupni	0,5 2,0 5,0	0,2 0,6 2,0	pijesak
Kamena sitnež .	fina krupna	8,0 12,0	7,0 12,0	kamena sitnež
Krupnija kamena sitnež	fina krupna	18,0 25,0	18,0 25,0	krupnija kamena sitnež
Tucanik	sitni srednji krupni	35,0 45,0 55,0	35,0 45,0 55,0	tucanik

Posebno označivanje

Betonski pijesak	Betonski sitni pijesak	< 1	Betonski drobljeni pijesak	Betonski sitni pijesak	< 1
	Betonski krupni pijesak	1-3		Betonski sitni pijesak	1-3
	Betonski krupni pijesak	3-7		Betonski sitni pijesak	3-7
Betonski šljunak	Betonski sitni šljunak	7-30	Betonska sitnež		7-30
	Betonski krupni „	30-70	Betonski tucanik		30-70
Betonski pjeskoviti šljunak . .		< 70			

Švicarski savezni zavod za ispitivanje materijala upotrebljava obična sita sa slijedećim otvorima (po Quervain F. i Gschwind-u 1934.):

0,147 mm/2500 kvadratičnih otvora na 1 cm²	žičana sita	8 mm	Sita sa okruglim otvorima
0,223 „ / 900 „ „ „ 1 „		15 „	
0,5 „ „ „ „ 1 „		40 „	
1 „ „ „ „ 1 „		60 „	
2 „ „ „ „ 1 „			
4 „ „ „ „ 1 „			

U USA upotrebljavaju sita sa kvadratičnim otvorima slijedećih veličina otvora (u colima):

0,0059	0,187
0,0117	0,375
0,0232	0,75
0,0469	1,0
0,0937	1,5
	2,0
	3,0

»Sieving shall be continued on each sieve until not more than 1 percent by weight of the residue passes. Each fraction shall be weighed on a sensitive balance or scale. The percentage by weight of the total sample which is finer than each of the sieves shall be computed.«

O veličini i obliku zrna zavise svojstva cjelokupne površine nekoje vrste građevnog kamena; građa površine utječe na jakost vezanja, sposobnost međusobnog kemijskog djelovanja i t. d. Za njezino određivanje nema zajedničke metodike. Brojevi u slijedećoj tablici će dati o tome nekoje podatke:

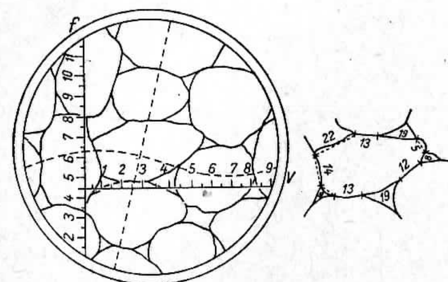
Nove norme prosijavanja i njihov utjecaj na građenje asfaltnih cesta (po H e e b-u; iz: Der Strassenbau, Halle a. d. Saale, 15. aprila 1932.).

Frakcije zrna odijeljenih prosijavanjem	Veličina površina po staroj normi prosijavanja (vidi DIN 1995) m²/kg	Veličina površina po novoj normi prosijavanja i veličini kvadratičnih otvora $1 = \frac{d}{\sqrt{2}}$ m²/kg	Veličina površina po novoj normi prosijavanja i veličini okruglih otvora $d = 1\sqrt{2}$ m²/kg
K_{00} 0,0 do 0,06 mm	90,6	90,6	53,37 (68,5)
K_0 0,06 do 0,088 mm	32,0	32,0	21,64 (27,5)
K_1 0,088 do 0,2 mm	15,0	15,0	11,12 (12,95)
K_2 0,2 do 0,6 mm	5,5	5,5	4,0 (4,9)
K_3 0,6 do 3,0 mm	1,75	1,67 (1,47)	1,18 (1,22)
K_4 3,0 do 10,0 mm	0,505	0,49 (0,43)	0,35
K_5 10,0 do 20,0 mm	0,15	0,21 (0,19)	0,15

b) Određivanje veličine zrna u čvrstim stijenama

Veličinu zrna u čvrstim stijenama određujemo prostim okom i pomoću mikroskopa. Na približno ravnu i glatku navlaženu plohu kamena, kome vidimo mineralna zrna prostim okom, postavi se četverokutni okvir od ljepenke ili lima; duž jednog unutarnjeg ruba mjerimo zbrojnim šestarom zbroj promjera (D) do-

voljnog broja dobro vidljivih zrna (n); tad je prosječni približni promjer **d** jednak $\frac{D}{n}$. Takva mjerenja treba opetovati na više mjesta. Dužina linije za mjerenje mora stajati u točnom odnosu prema veličini zrna (najmanje 20 : 1). U stijenama sa nejednako velikim zrnima treba mjeriti i velika zrna (utruske ili fenokristale) i mala zrna (u osnovnoj masi); mala zrna osnovne mase mogu se mjeriti samo pod mikroskopom.



Sl. 17. Uređaj u mikroskopu za fino mjerenje veličine zrna i brojke vezanja (Prema J. Hirschwald-u).

Za mjerenje promjera zrna upotrebljava se u mikroskopu mikrometar na stoliću i okular sa mikrometrom (sl. 17.) i onda mikrometarokular sa vijkom, s kojim se radi vrlo brzo i točno. Mjerenje se vrši duž dovoljno dugačke linije mjerenja (više od 20-struke dužine promjera srednjeg zrna). Pogrešne vrijednosti za promjere mineralnih zrna mogu se dobiti kad površina mikroskopskog preparata (izbruska) ne reže mineralna zrna po njihovim najvećim promjerima, nego manje ili više sa strana; da se to primjeti i spriječi promatra se mikroskopski preparat, odnosno zrna u njemu pri laganom podizanju i spuštanju tubusa mikroskopa.

Srednji promjer zrna, određen mikroskopom ili prostim okom, je manji od stvarnog promjera. Po M a d e r-u bi bio stvarni promjer 1,2337 dio od vidljivoga, kad bi mineralna zrna imala oblik kugla. Z e l t e r W. (1927.) je dobio za ovu vrijednost u metalima brojku 1,27. Preduslov je dakako da vanjski

izgled tijela koje mjerimo, bude zrnast i masivan. U slučaju da su mineralna zrna listićava ili produljena, tad treba mjerenja promjera mineralnih zrna obavljati na istaknutim smjerovima. U svakom slučaju je moguće i listićava i produljena zrna predstaviti u obliku kugle istoga volumena. Dakle u čvrstim stijenama treba razlikovati prividni od stvarnog promjera mineralnog zrna.

5. OBLIK ZRNA

Oblike mineralnih zrna možemo svrstati u tri glavne skupine: **kuglasti** (izometrijski), **pločasti** (listićasti, ljuskasti, klinasti) i **produljeni** (stubasti, vlaknasti, igličasti) oblik minerala. U svakoj skupini može se opet izdvojiti okruglasti, sa zaobljenim bridovima i uglatim bridovima. Za klasifikaciju je mjerodavan odnos poprečnog promjera (Qd), odnosno debljine, prema dužini (L) ili širini plohe, dotično uopće odnos promjera komada kamena.

Odnos promjera		Naziv oblika zrna	
Općenito	Poiedinačno	Glavna vrsta	Podvrste
Dva ili više promjera (Qd), koji leže u jednoj oblikom naglašenoj ravnini (u „poprečnom prelomu") su razmjerno maleni. Na njih okomiti promjer (L) je veći, ili znatno veći.	L > 6 Qd	Produljen (iverast ako šiljasto završava)	prutićast: okruglasto, uglasto
	2 Qd < L < 6 Qd		stubasto-produblje: zaobljen-stubast, oštrobridan
	1,5 Qd < L < 2 Qd		dugoljast: jajolik, valjkast, kratko-stubast, debelo-stubast

Odnos promjera		Naziv oblika zrna	
Općenito	Pojedinačno	Glavna vrsta	Podvrsta
$d_1 : d_2 \; d_3 \ldots\ldots d_n$ približno jednako 1, ili između 1 i 1,5		izometrijski	kockast, kuglast, četveroplošan (tetraedru sličan)
Dva ili više promjera su znatno veći nego treći (D) na njih približno okomit	$\frac{2\,Qd}{3} > D > \frac{Qd}{5}$	plosnat	debelo-tabličast: ravan, izbočen (trbušast), ljušturast
	$\frac{Qd}{5} > D > \frac{Qd}{10}$		fino pločast (u stijena) debelo ljuskav (u minerala)
	$\frac{Qd}{10} > D$		listićav (tanko ljuskav, fino ljuskav)
	u jednom smjeru klinast	klinast	poput tankog klina, poput debelog klina, poput vrlo debelog klina

Prema svojstvu bridova na prelomu razlikujemo jako **oštrobridne** (koji režu, na pr. obsidijan), **oštrobridne** (granit), **tupe** i **jako tupe** (lapor zahvaćen trošenjem) komade kamena. J. Oberbach (1929.) predlaže klasifikaciju finih pijesaka na način da im se utvrdi pripadnost jednoj od spomenutih vrsta brušenjem sa mašinom po određenoj normi. Dobar oslonac pružaju također i promatranja u binokularnom mikroskopu. Stari građevni stručnjaci protaru pijesak među prstima.

Oblik zrna upliva na razne načine na kakvoću kamena u građevini. Okrugli ili dijelom okrugli šljunak, lomljen od velikih oblutaka, nije dobro ugrađivati u ceste sa dnevnim saobraćajem većim od 400 tona. Takvi komadi se lako pomiču i svojom kuglastom i glatkom površinom slabo vežu sa asfaltom (iskustvo u Bavarskoj prema Vespermann-u). U zastoru ceste imaju bridaste čestice šljunka čvršći položaj nego zaobljene. Uz oblik važna je i hrapavost, odnosno glatkoća površine.

Stern (1934.) daje prednost smjesama sa okruglastim česticama zbog veće uštede i lakšeg obrađivanja betona. Obzirom na obrađivanje

beton sa bridastim česticama sličan je betonu sa okruglim česticama, pogotovo kad čestice imaju glatku površinu (oštrobridni dolomit iz Grieselbacha, Leogangske Alpe). Treba ovdje primjetiti da se vezivo jače hvata oštrokutnih nego okruglastih čestica. U cestogradnji međutim, gdje se ne gleda toliko na čvrstoću koliko na otpornost prema udarcu i t. d., preporuča se općenito upotreba bridastih čestica (šljunka, tucanika).

Prostim okom ili pomoću mikroskopa određujemo oblik zrna pojedinih mineralnih sastojaka u odnosu prema njihovoj veličini; tako se postupa ne samo sa čvrstim stijenama nego i sa rastresitim materijalima (primjerice pijescima i glinama), ali ne suviše sitnog zrna. Za određivanje oblika šljunka možemo upotrijebiti nekoliko jakih i na obadva kraja otvorenih staklenih cijevi. Njihov promjer mora biti podešen prema promjeru čestica uobičajene upotrebe. Visina staklene cijevi je nekoliko puta veća od njezinoga promjera (na pr. 5 puta veća). Na vanjskoj strani cijevi nalazi se skala u dijelovima promjera cijevi (na pr. ¼, ½, ¾, 1, 1½, 2, 2½, 3, 3½, 4, 4½, 5.) Stavi li se čestica šljunka u cijev odgovarajućeg promjera, tad se može dosta točno ocijeniti koliko zrno odstupa od izometrijskog oblika; izometrijskom se smatra čestica šljunka, kojoj se dužina, visina i širina, dakle prostorne dimenzije, odnose kao 1 : 1 : 1, ili se ne razlikuju za više od 50% (na pr. 1 : 1 : ½; 1 : 1½ : 1½). Produljene komade treba unositi dužom stranom u smjeru duže osi staklene cijevi, a pločasti treba da leže širom stranom na dnu.

Za istraživanje gore navedenim postupkom uzima se od skupine svake veličine čestica po 200 komada, da se utvrdi raspodjela i udio pojedine skupine oblika u šljuncima; rezultate mjerenja bilježimo u križaljci crticom za svaki pojedini slučaj; kad na kraju pokusa zbrojimo crtice dobijemo tada udio pojedine skupine oblika, po veličini čestica.

Odnos promjera čestica iskoristio je već S t i n y (1929.) za opis i naziv njihovih oblika. Kasnije je S c h m ö l z e r (1930.) uveo u nomenklaturu **»indeks zrna«**, odnosno broj za pojedini oblik zrna; indeks zrna pokazuje odnos zrna sa najvećim promjerom prema zrnu sa najmanjim promjerom, u onome prerezu, koji prolazi sredinom najvećeg promjera zrna i okomito na zrno.

Po R o t h f u c h s-u (1931.) različit oblik zrna, pri jednakoj veličini izražava se brojem zrna, koje sadržava jedinica volumena (1 litra); otuda se može izvesti i pogodan postupak za istraživanje.

6. VEZA ZRNA I STRUKTURA

Mineralni sastojci dodiruju se u stijenama ili neposredno ili posredstvom izvjesne mase (prirodnog veziva ili cementa),

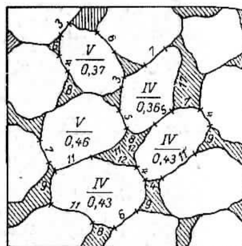
Čvrstoća povezanosti mineralnih zrna može se na razne načine približno odrediti. Tako jednostavnim udarcem čekića ili ispitivanjem čvrstoće na vlak. Po prelomu pojedinih zrna, pravcima preloma duž njihovih granica, i po prelomu ili otporu veziva i t. d. ocjenjujemo čvrstoću povezanosti mineralnih sastojaka u odnosu prema njihovoj čvrstoći na jednoj i čvrstoći mineralnog veziva na drugoj strani. (Pobliže o tome u H i r s c h w a l d u i S t i n y-u 1929.). Na taj način mogu se dobiti izvjesne vrijednosti za poređivanje. Približne vrijednosti za neposrednu jačinu vezanja možemo u stijenama sa krupnim i najkrupnijim zrnom dobiti promatranjem prostim okom ili povećalom; u svim drugim slučajevima pomoću mikroskopa na slijedeći način:

Na uglačanoj površini izmjerimo u dva međusobno okomita smjera dužine dodirne linije L i L_1; obadvije vrijednosti preračunamo na jedinicu dužine (na pr. cm) cijele linije mjerenja (l, l_1). Površina vezanja je po H i r s c h w a l d u približno $\frac{l}{2} \cdot \frac{l_1}{2} \pi$; kod bridastih zrna $l \cdot l_1$; u većini stijena sredina obiju vrijednosti bit će približna veličini stvarne površine povezanosti mineralnih zrna.

Vezu među mineralnim zrnima izražavamo brojčano t. zv. **brojkom vezanja,** t. j. brojem zrna, koja su spojena sa svakim pojedinim zrnom u ravnini mikroskopskog preparata, ili opet **mjerom vezanja,** to će reći kvocijentom iz cijeloga opsega zrna i zbroja njegovih dijelova, s kojima je ono vezano sa susjednim zrnima. Mjera vezanja se odredi tako da se mikrometar u

okularu okreće i poklopi jedno za drugim cijeli opseg (izlomljenu liniju) mineralnog zrna. Tako se zbrajanjem pojedinih dijelova dobije dužina cijele spojne linije B mineralnog zrna.

Pojedine izmjerene veličine unosimo u crtež da izbjegnemo pogreške. Cijeli opseg zrna, podijeljen sa dužinom njegove spojne linije daje vrijednost za mjeru vezanja. J. H i r s c h w a l d piše brojku vezanja i mjeru vezanja u obliku razlomka, kojega vrijednost naziva **vezom zrna;** tako na pr. 5/0,42 znači da je brojka vezanja 5 (zrno se veže s drugih 5 zrna) a mjera vezanja 0,42 (izražena u metričkoj mjeri). Razumljivo je da broj mjerenja treba izvršiti na što većem broju zrna (sl. 18.).



Sl. 18. Određivanje vrijednosti vezanja zrna prema J. Hirschwald-u

Mala brojka vezanja, a velika mjera vezanja daju prema J. H i r s c h w a l d u neko jamstvo za postojanost stijene prema vremenskim promjenama. Pregledavanjem takve površine pod mikroskopom najsigurnije primjetimo i šupljinice, koje možda postoje u kamenu.

Jačina vezanja zrna dobiva se najsigurnije ispitivanjem čvrstoće na vlak (vidi str. 81); odredi li se na takav način jačina vezanja zrna treba ipak uzeti u obzir i šupljikavost stijene. U tu svrhu daje J. H i r s c h w a l d formulu:

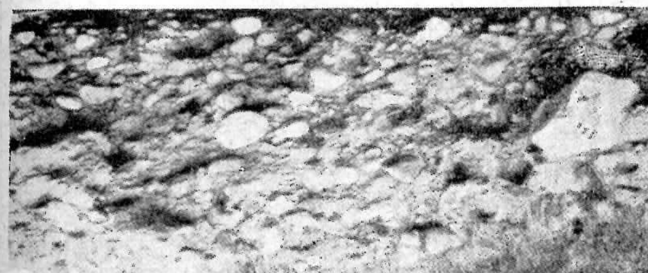
$$Z_b = \frac{Z}{F\left(1 - \frac{L_2}{100}\right)}$$

gdje Z_b predstavlja čvrstoću na vlak na 1 cm² stijene bez šupljine, Z neposredno određenu vrijednost za čvrstoću na vlak, F površinu po kojoj je stijena pukla i L vrijednost za šupljikavost.

Jačina vezanja zrna može se procjenjivati približno i prema ponašanju bridova ili ivica pokusnog uzorka kamena. Zato treba oštrom stranom geološkog čekića odbiti od uzorka spljoštene komadiće, koji završavaju oštrim bridovima. Jačina vezanja zrna je to veća što je potrebnija veća sila da se odlomi jedan klinast komad sa određenom debljinom klinovog čela, a ta jačina je to manja što je slabije čelo klina, koje se može krajnjim naporom smrviti.

Jačina vezanja zrna u stijeni može oslabiti ili sasvim popustiti pod uplivom gorskih masa (zdrobljene mase u tektonskom pojasu). B a r t o n V. L. (1930.) prikazuje kako se odredi geološko-petrografsko ponašanje izvjesne stijene u raznim drobilicama. One opet sa svoje strane vrše razne učinke (Blake type of breaker, crushing rolls, gyratory crushers). Drobilice koje jako drobe mogu oslabiti strukturu stijene tako da se ona raspada pod pritiskom teretnog prometa.

U strukturi stijene odrazuje se međusobni odnos mineralnih sastojaka obzirom na njihovu veličinu, oblik, smještaj i način vezanja (zrna jednako velika, porfirska, međusobom izukrštana i t. d.). Budući da tehnička svojstva građevnog kamena odlučno zavise od strukture, moramo je odrediti pri svakom istraživanju; za to služi mikroskop, a u jako krupnozrnih stijena može se određivanje izvršiti i prostim okom.



Sl. 19. Struktura konglomerata. Čestice šljunka (oblući) u vezivu

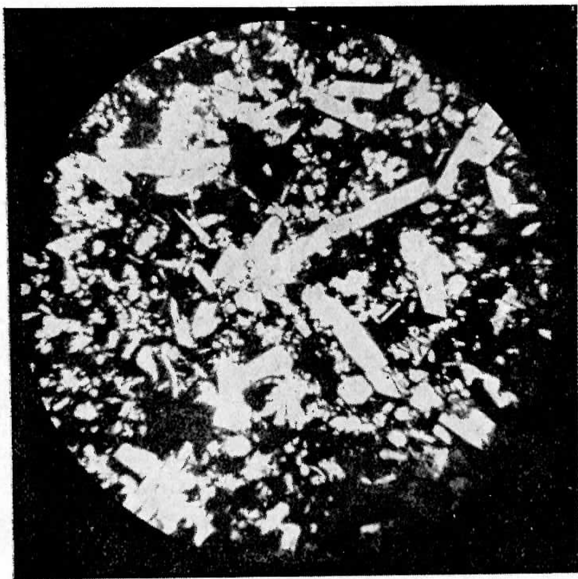
U suvremenoj cestogradnji nazivaju strukture stijena ovako:

zrnatu strukturu ima stijena, u kojoj su približno jednako velika zrna (vidi str. 22); dozvoljene su razlike do 50%; primjeri: pretežno intruzivne (dubinske) stijene;

zrnatu strukturu sa zrnima razne veličine (u pravom značenju riječi) ima stijena sa primjetno nejednako velikim zrnima (razlika u veličini 1½ do 3 puta); ako je razlika u promjeru zrna veća od 3 : 1, tad su velika zrna t. zv. **utrusci** (fenokristali),

koji leže u osnovnoj masi. Ako osnovnu masu možemo razlučiti prostim okom, tad je **struktura porfiroidna;** ako osnovnu masu ne razlučimo bez mikroskopa, tad je **struktura porfirska** (efuživne, izlijevne stijene, sl. 15);

staklastu strukturu imaju stijene, koje su nastale brzim ohlađivanjem lave na površini; takve su stijene krte;



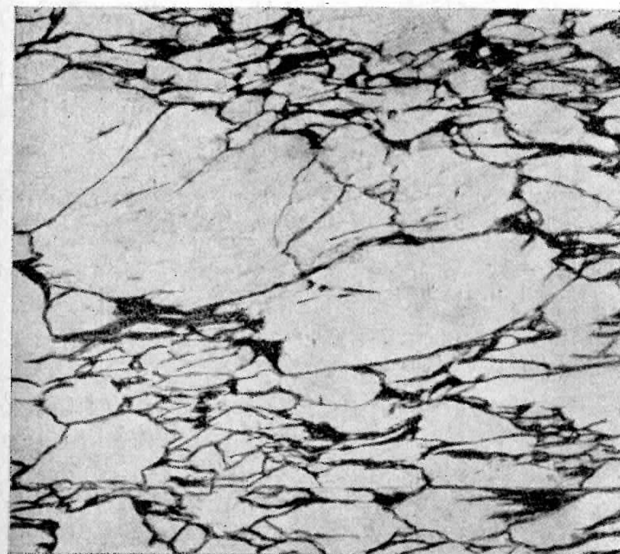
Sl. 20. Dijabaz. Intersertalna struktura. Međuprostori razno ukrštenih štapićastih plagioklasa ispunjeni su zrnatim augitom.

intersertalnu strukutru izgrađuju prutićasti, pločasti ili štapićasti mineralni sastojci, koji su urasli i duboko zašli jedni u druge, kao prsti ruku kad ih prepletemo; u takvim stijenama su mineralni sastojci među sobom vrlo čvrsto povezani (mnogi dijabazi i bazalti, sl. 20.); stručnjak za građenje cesta traži takve stijene za građevni kamen;

pelitsku strukturu (u finozrnim sedimentima) imaju sedimentne stijene, koje se sastoje u glavnom od zrnaca i ljuskica

minerala, sa promjerom manjim od 0,02 mm; takve stijene upijaju vodu i nisu postojane na smrzavanju;

psefitsku strukturu (u sitnozrnim pješčarima) imaju stijene sa promjerom zrna od 0,2 do 2,0 mm a veže ih izvjesno prirodno vezivo (cement); izdržljivost takvih stijena je zavisna od prirode veziva (to vrijedi u ostalom i za slijedeće dvije strukture);



Sl. 21. Struktura breče. Oštrouglasti ulomci u vezivu (Fot. ing. A. Winter)

brečastu strukturu, pri kojoj su oštrokutni fragmenti sa promjerom većim od 2 mm povezani (slijepljeni) prirodnim vezivom; napokon

strukturu u konglomerata, kad su zaobljene čestice sa promjerom većim od 2 mm slijepljene prirodnim vezivom (sl. 19.). Breče i konglomerati općenito se ne upotrebljavaju za šljunak, kad im pojedine čestice imaju promjer veći od 8—10 mm.

7. SLOG KAMENA

Slog, koji se brojčano izražava veličinom šupljikavosti (L) pokazuje način i mjeru do koje su mineralni sastojci ispunili prostor, koji zauzima komad kamena. Slog se izražava jednadžbom za prostorni odnos:

$$L \text{ (šupljikavost)} = \frac{\text{volumen šupljinica} \cdot 100}{\text{volumen istraživanog uzorka}}$$

$\frac{L}{100}$ označuje također stepen šupljikavosti (U), a (1—U) stepen nepropusnosti. Slog stijene, koji se opaža prostim okom naziva se **grubi slog,** a onaj koji se može raspoznati tek mikroskopom naziva se **fini slog.**

Od sloga zavise mnoga tehnička svojstva kamena; L e o n A. (1908., 1914.) pokušao je prikazati koliko slog djeluje na čvrstoću.

Zbroj svih praznih prostora u kamenu određuje se na razne načine. Tako na primjer formulom:

Zbroj praznih prostora (l) = cjelokupni volumen — volumen čvrstih dijelova.

Ovaj zbroj praznih prostora svodi se na 100 i tad se u rastresitim masama obično naziva volumen šupljina ili pora (na pr. u inž. geologiji, pri temeljenju).

Cjelokupni volumen je lako odrediti ako pažljivo izrežemo jedan geometrijski pravilno omeđen uzorak ili pokusnu kocku kamena. Ako to bilo iz kojeg razloga nije moguće tad se mora primijeniti postupak sa zemnim uljem ili parafinom.

Pri postupku sa zemnim uljem stavi se mokar uzorak kamena (veličine šljunka) u staklenu posudu, koje sadržina je točno poznata; tad iz birete puštamo zemno ulje sve dok se posuda sa uzorkom kamena ne napuni do vrha, ili do određene oznake;

volumen posude — volumen zemnog ulja iz birete =
volumen uzorka kamena.

Možemo upotrebiti i posudu sa savijenim grlom za istjecanje zemnog ulja. Kad u posudu napunjenu uljem stavimo uzorak kamena, istječe ulje, koje se hvata u kalibriranu posudu. Količina ulja u kalibriranoj posudi pokazuje neposredno volumen ispitivanog uzorka kamena.

Suhe uzorke za ispitivanje stavljamo u rastaljen parafin, koji kao tanka prevlaka pokrije cijelu površinu kamena; takvim postupkom ne ispitujemo navlažene uzorke, jer u dodiru sa vrućim parafinom voda se isparuje, i kao para može osjetljivo smetati. Sa uzorkom koji je prevučen parafinom postupa se točno po prijašnjem gornjem opisu. Uzorak prevučen parafinom stavljamo u vodu, mjesto u zemno ulje. Tako dobijemo cjelokupni volumen zajedno sa prevlakom parafina. Zbog korekture rastalimo oprezno parafin i posebno ga odvagnemo; težina parafina podijeljena sa njegovom specifičnom težinom (srednja vrijednost 0,93; ova je vrijednost različna, a zavisi od tališta parafina) daje njegov volumen; volumen parafina odbijemo tada od cjelokupnog volumena (uporedi str. 61).

Sa šljunkom za betonsku masu ne mora se postići takva točnost kao u gore opisanim primjerima. Šljunak stavimo u posudu poznatog volumena i malo ga zbijemo do određene oznake. Za pijesak uzimamo posudu od 1 l, za sitni tucanik od 5 l, a za šljunak od 10—20 l. Iz kalibrirane posude sipamo polagano vodu dok potpuno ne pokrije materijal u posudi. Tako smo odredili cjelokupni volumen šupljina i čvrstih čestica. Određivanje vrijednosti sloga vrši se ponajviše istodobno sa određivanjem prostorne i specifične težine uzorka (usporedi poglavlje 11.).

Šupljine u kamenu mogu biti okruglaste, nepravilne, poput žila, pravolinijske ili raspoređene u ravnini (pukotine i pukotinice). One su obzirom na oblik i raspored vidljive u mikroskopu, ili postaju vidljive bojenjem. Kao boja upotrebljava se alkoholna rastopina nigrozina (H i r s c h w a l d), metilensko plavilo, berlinsko modrilo, eozin, kalijev permanganat, fluorescein (istraživanje poslije bojenja ultraljubičastim svijetlom) i dr. K i e s l i n g e r (1931.) ne preporuča upotrebu fuksina, jer se fuksin vrlo brzo iscijedi.

Za pokus priredimo dvije vrste uzoraka; jednu vrstu čine uzorci od 60 do 150 cm^3 veličine; te uzorke dobijemo razbijanjem većeg komada kamena, a drugu vrstu čine ispiljeni uzorci (uporedi također Z e l t e r-a, 1927.); u isto vrijeme možemo promatrati kako obrađivanje djeluje na kamen.

Priređene uzorke najprije sušimo nekoliko sati i zatim ih držimo u rastopini boje 48 sati i to u dobro zatvorenoj staklenoj posudi. Poslije toga izvadimo obojene uzorke pomoću kliješta, ocijedimo ih, sušimo i razbijemo; sa površine na prelomu možemo upoznati mnoga važna svojstva sloga i strukture kamena. G r e n g g (1938.) otkriva pukotine i žile (puteve za vodu) u kamenu na slijedeći način. Pokusni uzorak prevuče po sredini oko ½ mm debelim i okruglo 1 cm širokim pojasom vazelina; zatim stavi uzorak u posudu sa rastopinom jedne soli (na pr. 10% rastopina sode) na taj način, da pojas vazelina izbiją visoko iz rastopine soli. Poslije izvjesnog vremena pojavi se na suhoj površini uzorka, iznad pojasa vazelina, soda kao bijeli cvat tamo gdje je rastopina soli mogla kroz fine pukotine brzo prolaziti prema površini; pokus se izvodi po mogućnosti u suhom zraku.

U kamenim materijalima za građenje cesta razlikujemo prema veličini šupljina slijedeće oblike sloga:

mikrošupljikav slog: prazni prostori su vidljivi tek pod mikroskopom; prelom kamena može biti gladak;

finošupljikav slog: prazni prostori su upravo tek vidljivi prostim okom; površina preloma je fino hrapava;

sitno šupljikav slog: prazni prostori su uži od 1 mm a dulji od 0,5 mm;

finomjehurićast / **finotroskast** } slog: 1 mm < prazni prostori < 2,5 mm;

međustijenke { tanke / debele;

krupnomjehurićast / **krupnotroskast** } slog: prazni prostori > 2,5 mm; međustijenke { tanke / debele

Za stanovite svrhe (za beton i t. d.) nastoji se dobiti materijale po mogućnosti sa manjim brojem praznih prostora (grafikoni od F u l l e r-a, G r a f-a i t. d.); podatke pruža također slijedeća tablica.

Uzajamni odnos sastava po veličini zrna i sadržaja praznog prostora (šupljina) po ispitivanjima Hermann-a (Der Strassenbau 1931.).

D i j e l o v i s m j e s e p o v e l i č i n i z r n a						Odgovarajući prazni prostor (šupljine) u % prostora
od 0 do 0,5	0,05 do 0,085	0,085 do 0,2	0,2 do 0,6	0,6 do 2,0	2,0 do 7,0	
0	—	20	80	—	—	30,0
5	—	19	76	—	—	28,4
10	—	18	72	—	—	27,8
15	—	17	68	—	—	26,3
20	—	16	64	—	—	23,6
22,8	—	12,2	9,0	23	32,5	14,5
30	—	14	56		—	21,6
30	—	70	—	—	—	24,0
30	—	35	35	—	—	20,0
40	—	12	48	—	—	24,4
40	—	36	30	—	—	23,7
50	—	10	40	—	—	26,7
100	—	—	—	—	—	41,5

8. PUKOTINE U KAMENU

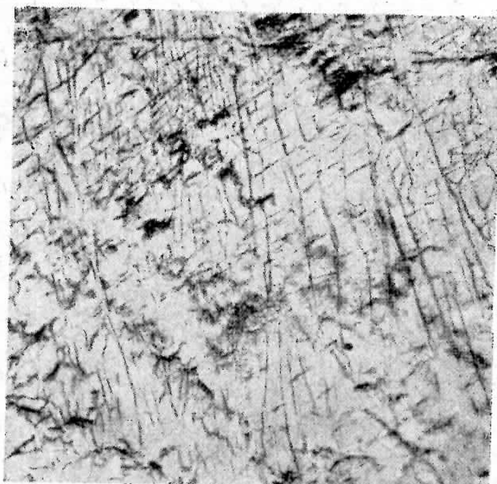
Pukotine u kamenu mogu biti makroskopske (velike pukotine) i takve da ih zapažamo tek lupom, mikroskopom ili pomoću boja (sitne pukotine).

Sitne pukotine uzrokuju lako usitnjavanje kamena pod valjkom, iako je kamen izgledao čvrst (zgnječen dolomit, vapnenjak i. t. d.); pukotine se nastavljaju u pojedinim mineralnim zrnima na pukotine kalavosti ili cjepljivosti (poredi T e r t s c h, str. 103), ali se ne smiju s njima poistovjetiti, iako mnogo puta padaju u iste pravce (raspucanost mineralnog zrna).

Raspucanost po velikim pukotinama je odlučna za iskorišćivanje nekog kamena za tucanik, za tesani kamen i t. d. Mjera za raspucanost je **brojka raspucanosti (K)** (S t i n y 1929.) i služi za poređivanje i predodžbu o veličini osnovne slomljene čestice; ona je omeđena velikim pukotinama (lase, pukotine). Brojku raspucanosti treba utvrditi u kamenolomu. Ako se ne obazremo na česte slučajeve nepravilne raspucanosti u sitne

komadiće (sl. 22.), nalazimo u kamenolomima općenito pukotine u tri među sobom približno okomita pravca. **K** se tada odredi najbolje na slijedeći način.

Na stijeni kamenoloma ili na prirodno odlomljenoj plohi povučemo crtu oštrim komadićem kamena, ili napnemo vrpcu



Sl. 22. Sitno drobljiv kamen nije podesan za građenje savremenih cesta. Dolomit donjeg devona, Schlossberg u Gracu, Štajerska.

okomito na glavne i najveće pukotine; tada na odmjerenoj širini prebrojimo pukotinice, koje teku u istom smjeru sa glavnim i najvećim pukotinama.

Takvo brojenje pukotinica vršimo na više odabranih mjesta, na isti način i dotle, dok dužina svih izmjerenih udaljenosti među njima ne bude najmanje dvadeset puta tolika, kolika je srednja udaljenost između glavnih i najvećih pukotina. Broj pukotinica, podijeljen sa ukupno izmjerenim dužinama u metrima, predstavlja traženu brojku raspucanosti (K_1), u pravcu okomitom na glavne i velike pukotine.

Isti je postupak također i onda, kad se radi o pukotinama, koje se protežu približno okomito na tragove prije mjerenih

pukotina; tako dobijemo brojku raspucanosti K_2. Za utvrđivanje vrijednosti treće brojke raspucanosti potražimo u kamenolomu otvorenu plohu, koja leži približno okomito na dvije ranije izmjerene plohe; tako dobijemo i brojku raspucanosti K_3.



Sl. 23. Raspucanost granita. Kamenolom Brohnbichl, Widys Söhne; Schrems, Donja Austrija

Neka bude primjerice $K_1 = 10$, $K_2 = 5$, $K_3 = 4$; tad su dimenzije osnovne slomljene čestice u odgovarajućim prostornim pravcima 10 cm, 20 cm i 25 cm; kamen se lomi prema tome u ploče, koje su za zidanje tanke, ali se mogu obrađivati u kocke za pločenje (na primjer okremenjeni pješčari fliša).

Tri glavne i najčešće pukotine su (poredi sl. 5. i 23.):

1. **Slojne pukotine** (slojne površine, površine taloženja i škriljavosti).

2. **Poprečne pukotine,** popreko na protezanje sloja, a u pravcu gorskog pritiska (površine glava slojeva).

3. **Uzdužne pukotine,** u pravcu protezanja sloja, a okomito na gorski pritisak (pukotine cijepanja).

Sićušne pukotinice, koje ne vidimo prostim okom otežavaju određivanje brojke raspucanosti. I u takvim rjeđim primjerima je bolje ma i približno poznavanje brojke raspucanosti, nego nikakvo; u takvim primjerima koristimo se iskustvom, i po pukotinama, koje su već prostom oku vidljive zaključujemo da ima i nevidljivih pukotina.

9. MINERALNI SASTAV

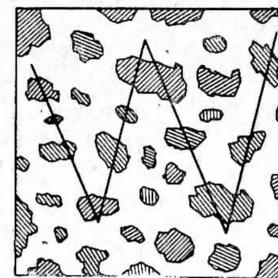
Za čisto tehničke svrhe može se mineralni sastav krupnozrnaste stijene odrediti već prostim okom na prelomljenoj ili uglačanoj površini; u svakom slučaju pak dobrim povećalom. Za druge vrste stijena treba izbrusak pregledati pomoću mikroskopa.

Osim vrste minerala potrebno je za građevinske svrhe poznavati i količine pojedinih minerala (kremen, tinjac ili liskun i t. d.); u stijenama sa zrnom nejednake veličine treba poznavati i volumni odnos između utrusaka (fenokristala) i osnovne mase.

Po ranijoj metodi R o s i w a l-a (1898.) izračunavao se volumen pojedinih minerala u stijeni jednostavnim mjerenjem njihovih dužina u izbrusku. Pretpostavka za takva mjerenja je bila da su mineralna zrna okruglasta i jednakomjerno prostorno raspoređena. Za postizavanje točnosti (1%) treba pri mjerenju oprezno postupati. U prvom redu treba cjelokupna dužina linija (»Linije mjerenja«, sl. 24., sa kojih se čitaju dužine mineralnih zrna) biti najmanje 100 puta duža od veličine zrna. U stijenama sa slojevitim, fluidalnim i škriljavim vanjskim izgledom treba u izbruscima obaviti mjerenja u tri pravca među sobom okomita.

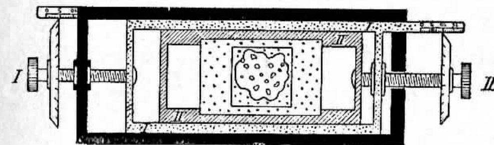
Na vrlo krupnozrnom uzorku kamena, na približno ravnoj plohi, treba linije mjerenja povući olovkom ili tušom; u mikroskopu služi za tu svrhu okularmikrometar; njegove među

sobom okomite linije treba tako položiti da prolaze samo jedamput kroz svako zrno mjerenog minerala. Mnogi preporučuju da linije mjerenja budu izlomljene (sl. 24.). Na linijama mjerenja čitamo neposredno, ili pomoću mikrometra na vijak, dužine svakog zrna posebno; tada saberemo sve dužine l_1, l_2, l_3 i t. d., u zbroj L (linija dužina), koji stavimo u odnos prema cjelokupnoj dužini linija mjerenja Lm. Razlomak $\frac{L}{L_m} \cdot 100$ (dakle cjelokupni zbroj dužina svakog zrna podijeljen sa cjelokupnom dužinom linija mjerenja i pomnoženo sa 100) daje prostornu zapreminu mjerenog minerala.



Sl. 24. Linije za određivanje količine nekog mineralnog sastojka u kamenu.

Po metodi S. J. S h a n d a dolazimo brže k cilju. Po toj metodi upotrebljavamo sanke na vijak (sl. 25.), koje pričvrstimo na stolić mikroskopa; u nutarnji okvir sanka postavi se izbrusak. Za mjerenje treba leća s nitnim križićem; sanke postavimo uporedo s poprečnom niti, a uzdužnu nit se postavlja uporedo s granicama mineralnog zrna. Jednom sankom prođe se po odsječcima linije koja prolazi po mineralnim zrnima, s drugom po međuprostorima između mineralnih zrna. Prije početka i po svršetku kretanja sanki pročitamo stanje na mikrometarskom



Sl. 25. Sanke za mjerenje prema S. J. Shand-u.

vijku; takva četiri mjerenja su dovoljna i tada, kad se uzima više linija mjerenja. Poslije pregleda prve linije mjerenja, pomaknemo sanke tako da se slijedeća linija mjerenja nastavi nepo-

sredno na prethodnu. Tako opetovanim čitanjem dobijemo cjelokupan zbroj presjeka mineralnih zrna i međuprostora među njima. Jednostavnim preračunavanjem izmjerenog minerala dobijemo konačno njegov volumni udio u stijeni.

Sastav krupnih pijesaka, kamene sitneži i šljunaka ustanovljujemo odabiranjem frakcija pincetom, vaganjem frakcija i stavljanjem njihovih težina u omjer prema težini cjelokupno odvagnute količine materijala. U krupnijim materijalima možemo izdvojiti zasebno i fragmente pojedinih minerala (kremena, kalcita i t. d.), kao i stijena (na primjer gnajsa, granita, filita, kvarcitskog škriljca i t. d.).

Odabiranje je teško i ograničuje se najčešće samo na sastojke tehnički najvažnije; minerali (stijene) sa sličnim tehničkim osobinama izlučuju se u skupine. Za upoznavanje važnijih sastojaka služi dobro razrijeđena solna kiselina (približno 1 : 5). Čisti vapnenjaci reagiraju sa solnom kiselinom (šumno kipi) i dobivaju glatku često sjajnu površinu; dolomitski vapnenjaci razvijaju malo mjehurića ugljičnog dioksida; na površini postaju hrapavi (od proslojaka dolomita). Glineni škriljac se ne otapa, ali se na površini izlučuju glinene čestice, koje se mogu sprati; slično reagiraju lapori, koji međutim još šume. Čisti dolomit ne razvija sa solnom kiselinom mjehuriće ugljičnog dioksida. Kremen ne reagira na solnu kiselinu, a od dolomita se razlikuje po tome što para staklo; ima osim toga neravnu površinu i po tome ga možemo razlikovati od glinenaca sa ravnim plohama; glinenac ne reagira na solnu kiselinu kao ni kremen, i tvrd je da ga ne možemo parati nožem.

Uz poznavanje vrsta tehnički važnih minerala u kamenu, i njihovih količina, treba poznavati i njihovu s v j e ž i n u, možda i stupanj raspucanosti, kao i deformacije zbog tektonskih pritisaka (na pr. valovito potamnjenje, klizne površine i t. d.). Metamorfoze, koje nisu umanjile, nego su štoviše povećale vrijednost kamena za tehničke svrhe (na pr. sosiritizacija), treba u stručnom smislu posebno naglasiti, da nestručnjak ne posumnja u vrijednost kamena. Stručnjak može mnogo toga ustanoviti po mineralnom sastavu, ako istodobno utvrdi i druga svojstva promatranjem izbruska od kamena u mikroskopu. Samo nabrajanje minerala kao sastojaka u nekoj stijeni ne kaže mnogo.

To pokazuje među ostalim pregled od M o t s c h m a n n a (1934)., iz koga donosimo izvadak.

M i n e r a l o š k i s a s t a v n e k o j i h n j e m a č k i h g r a n i t a

Porijeklo	Mineralni sastav u %			Prostorna težina	Čvrstoća na pritisak kg/cm²	Habanje u cm³/cm²
	Glinenac (feldspat)	Kremen (kvarc)	Tinjac (liskun)			
Epprechtstein	71,9	25	3	2,60	1500	0,15
Freidensee	71,2	25	3	2.65	2000	0.25
Büchelberg	76,7	17	6	2,77	2[illegible]00	0.16
Fürstenstein	76	17	7	2,76	1800	0,13
Metten	70	22	8	2,67	1530	0,36
Einöd (Vilshofen)	68	24	8	2 67	2210	0,24
Hauzing	60—70	25—30	3	2.66	2050	0,23
Kösseine	57	40	3	2,69	1900	0.20
Fuchsbau	56	36	3	2,66	1745	0,19
Gericht b. Selb	51	44	5	,65	1950	0 07
Schneeberg	51	43	6	2,68	1520	0.10
Flossenbürg	46	50	4	2,70	1700	0,22

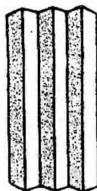
Podaci istraživanja granita, koje je dao Z e l t e r (1927.), pokazuju međutim jasno ovisnost između mineralnog sastava i primjene neke vrste kamena.

Najvažnija svojstva, po kojima ćemo prepoznati minerale u kamenu za građenje cesta

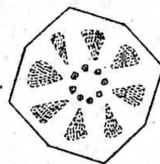
Sulfidi. Imaju metalnu sjajnost; žut (pirit), zlatno žut (halkopirit), sivkasto žut (markazit), boje poput bronce (pirotin ili magnetopirit). Boje nastale trošenjem: rđastožuta, rđastosmeđa, zelena (malahit) ili plava (azurit). Zbog oslobađanja sumporne kiseline vrlo pogibeljni, posebno u kiselim stijenama.

Kremen ili kvarc. Tvrdoća 7. Spec. tež. 2,65. Heksagonalan. Lom školjkast ili iverast (krt!); masna sjajnost, samo na kristalnim plohama sa staklenom sjajnosti. SiO_2, vrlo otporan prema djelovanju atmosferilija. Teško se haba. Odlike: mliječni, žuti, čađavi kremen, rožnat (gust, plitko školjkast), vatrenjak.

Glinenac ili feldspat. Tvrdoća 6. Razlikuje se od kremena kalavošću po pravilnim i ravnim plohama; plohe kalavosti sjajne do biserno sjajne, ako je svjež (rastrošen: mutan — zemljast). Svjež je otporan prema atmosferilijama. Vrste: **Ortoklas.** Spec. tež. 2,54 do 2,58. $K_2Al_2Si_6O_{16}$. Jednostavna sraslačka prutanja; polovina sraslaca reflektira svijetlo dok je druga polovina zasjenjenja. Monoklinski. **Plagioklasi.** Spec. tež. 2,62 do 2,76. Izomorfne smjese $Na_2Al_2Si_6O_{16}$ (albita) sa $CaAl_2Si_2O_8$ (anortitom). Triklinski. Mnogobrojni sraslaci: zasjenjene i svijetle lamele mijenjaju se na plohama kalavosti (sl. 26.).



Sl. 26. Izmjenične svijetle i tamne lamele pokazuju plagioklas (triklinski glinenac).



Sl. 27. Leucit. Poprečni prerez obično osmerokutan do okruglast. Uklopci su pravilno raspoređeni.

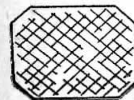
Leucit. Tvrdoća 5,5 do 6; spec. tež. 2,45 do 2,50. Ponajviše kao deltoidski ikozitetraedar (24-plošnjak), otuda u prerezima u obliku okruglastom ili osmerokutnom (sl. 27.). $K_2Al_2Si_4O_{12}$. Ponajviše bijel. Dosta postojan prema atmosferilijama.

Nefelin. Tvrdoća 5,5 do 6. Spec. tež. 2,55 do 2,65. Heksagonalan; u prerezima šestero- ili četverokut. $Na_2Al_2Si_2O_8$. Dosta postojan prema atmosferilijama. Nema kalavosti. Lom plitko školjkast.

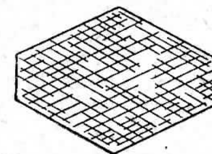
Tinjac ili liskun i srodni minerali. Prepoznajemo ga po savršenoj kalavosti po baznom pinakoidu i listićavom vanjskom izgledu. Monoklinski. Štetan sastojak u kamenu (umanjuje čvrstoću i postojanost prema atmosferilijama). Tvrdoća 2,5 do 3; sjajan po površini. Vrste: **crni tinjac** (biotit). Spec. tež. 2,8 do 3,2. Crn, s prelazima u crvenkasto, zlatno žućkasto kad se troši, i najzad bezbojan (bauerit). Dosta postojan prema atmosferilijama. **Svijetli tinjac** (muskovit). Tvrdoća 2,76 do 3,1; srebrnasto

sjajan. Otporan prema djelovanju atmosferilija. **Svilenasti tinjac** (sericit). Sličan muskovitu, ali vrlo sitnolistićav, daje kamenu svilenastu sjajnost i masan opip. **Zeleni tinjac** (klorit). Spec. tež. 2,5 do 2,9, tvrdoća 1,5 do 3; zelenkast do tamno zelen. Dosta otporan, i otporan prema atmosferilijama.

Augit. U poprečnim prerezima osmerokutan (sl. 28.). Stubast; pukotine kalavosti se sijeku pod kutom 87° (93°). Lom iverast do kukast; kompaktno građen; tvrdoća do 6. Kad je svjež onda je otporniji prema atmosferilijama od rogovače (hornblende).



Sl. 28. Osmerokutan poprečni prerez kristala augita; pukotine kalavosti zatvaraju međusobno kut od 87°



Sl. 29. Poprečni prerez kristala amfibola (rogovače). Pukotine kalavosti kao i plohe prizme sijeku se pod kutom približno $124^{1}/_{2}{}^{0}$

Vrste: **obični i bazaltni augit.** Tvrdoća 6. Spec. tež. 3,3 do 3,5; obično crn. **Dialag.** Tvrdoća 4, spec. tež. 3,23 do 3,34. Zrnast, siv do smeđ ili zelenkast. Sastojak gabra. Živa metalna sjajnost. **Omfacit.** Tvrdoća 6, spec. tež. 3,24 do 3,3. Zelen (kao trava). Sastojak eklogita.

Amfibol (hornblenda, rogovača). U poprečnim prerezima obično šesterokutan (sl. 29.); plohe prizme, koje su plohe kalavosti, zatvaraju kut 124,5° (55,5°). Tvrdoća 5,5 do 6. Obično stubast, kompaktan; kad je svjež postojan je prema atmosferilijama.

Vrste: **obična i bazaltna hornblenda** (rogovača); spec. tež. 3,15 do 3,33. Boja tamnozelena, također crna. **Aktinolit:** svjetlozelen do tamnije zelen. Igličast. Specifična težina 3,05 do 3,15. $CaMg_3Si_4O_{12} + CaFe_3Si_4O_{12}$.

Granat. Ima oblik rompskog dodekaedra (granatoedra); u prerezima zrnat-okruglast. Spec. tež. 3,4. Tvrdoća 6,5 do 7,5.

Smeđe crven do crven. Prema atmosferilijama potpuno postojan; s Al- bogati granati podliježu brzo trošenju. Ortosilikat.

Olivin. Rompski; nepotpuna kalavost; lom školjkast do iverast. Tvrdoća 5,5 do 7. Spec. tež. 3 do 3,4; Fe_2SiO_4 + Mg_2SiO_4 u raznom odnosu. Umjereno postojan prema atmosferilijama; staklena sjajnost, zelen poput olive, šparge.

Turmalin. Heksagonalan. U poprečnim prerezima trouglast, okruglast-trouglast. Tvrdoća 7 do 7,5; spec. tež. 3 do 3,4. Potpuno postojan prema djelovanju atmosferilija (sl. 30.).



Sl. 30. Poprečni prerez kristala turmalina

Limonit. Tvrdoća 5 do 5,5; spec. tež. 3,5 do 3,9. Smeđ, crvenosmeđ do crven, prema sadržaju vode ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$); ogreb smeđ. Nastaje površinskim trošenjem mnogih minerala sa željezom, posebno sulfida željeza (to je znak za oprez!).

Kalcit. Heksagonalno-romboedrijski. Tvrdoća 3; spec. tež. 2,72. S razrijeđenim kiselinama šumno kipi (već u hladnom, na uzorku); topljiv također u vodi u kojoj ima ugljične kiseline.

Dolomit. Romboedrijski; tvrdoća 3,5 do 4,5. Spec. tež. 2,85 do 2,95. Dolomit s jakom kiselinom reagira uz šumljenje, s razrijeđenim kiselinama samo kad su zagrijane, ili kad je mineral smrvljen u prah. Više je krt nego kalcit, inače tehnički nešto povoljniji od kalcita.

Gips. Monoklinski. Tvrdoća 1,5 do 2; spec. tež. 2,31 do 2,33; $CaSO_4 \cdot 2H_2O$. Štetan jer daje sumpornu kiselinu. U vodi malo topljiv.

Anhidrit. Rompski; tvrdoća 3 do 3,5. Spec. tež. 2,9 do 3; $CaSO_4$. Tehnički štetan kao i gips. U vodi malo topljiv.

Kaolin. Monoklinski. Tvrdoća 2 do 2,2; spec. tež. 2,6 do 2,63. Listićav; nastaje trošenjem glinenaca ili feldspata. U kamenu za građenje puteva nije poželjan. $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$.

Andaluzit. Rompski. U prerezima obično četverokutan. Zrnast. Tvrdoća 7 do 7,5. Spec. tež. 3,1 do 3,17. Tehnički povoljan. Al_2SiO_5.

Pregled važnijih magmatskih stijena za građenje cesta

	Glavni sastojci		Struktura je pretežno: jednakomjerno zrnata (intruzivne)	Struktura je pretežno: porfirska (efuzivne)	Druga važna svojstva
Pretežno monoklinski alkalijski glinenci ili feldspati	Sa kremenom i tinjcem (ili kojim drugim bojenim mineralnim sastojkom)		Granit	Kremenov porfir (stariji) Liparit (mlađi)	← pada — Sadržaj na kremičnoj kiselini — raste → → Prostorna težina pada do 2,6 ili 2,7 Tamne / Svijetle Čvrstoća općenito pada → Otpornost prema djelovanju atmosferilija ← raste
	Bez kremena	sa bojenim sastojkom	Sijenit	Ortoklasporfir Trahit (mlađi)	
		Feldspatoid zamjenjuje potpuno ili djelomično glinence	Eleolit. sijenit	Fonolit	
Pretežno plagioklasi	S amfibolom (ili tinjcem, rjeđe augitom)	sa kiselim plagioklasima	Diorit	Porfirit (stariji) Andezit (mlađi)	
	S augitom (rjeđe amfibolom)	sa bazičnim plagioklasima	Gabro	Diabaz (stariji) Melafir (srednje starosti) Basalt (mlađi)	

Pregled važnijih sedimentnih stijena za građenje cesta

Glavni sastojci		Ime stijene
Kalcit		Vapnenjak ili krečnjak Mramor
Dolomit		Dolomit
Kremen		Kremenov pješčar Kvarcit (po Stolley-u)
razne odlike	rastresit	Blokovi, Šljunak, Oblući, Pijesak – po veličini zrna
razne odlike	vezan (cementovan)	Breča (uglati ulomci sa promjerom većim od 2 mm) Konglomerat (zaobljene čestice sa promjerom većim od 2 mm) Pješčar (zrna sa promjerom manjim od 2 mm)

Kordierit. Rompski. Boje često ljubičaste; od kremena, sličnog mu po boji, razlikuje se kalavošću smjerom prizme (na plohama paralelne pukotine). Tvrdoća 7 do 7,5. Spec. tež. 2,58 do 2,66. Tehnički povoljan.

Disten. Triklinski. U kamenu (na pr. granulitu) u plavoj odlici (Cianit ili kianit). Al_2SiO_5. Tvrdoća 4,5 (6,5 i 7 po dužini plohe). Spec. težina 3,48 do 3,68. Tehnički nije povoljan.

Serpentin. Tvrdoća 2,5 do 4, katkad i veća zbog primjese kremena. Specifična tež. 2,2 do 2,8; zelenkast, plavkasto-zelen; $H_4Mg_3Si_2O_9$; u staklenoj tikvici daje zagrijavanjem vodu. Postojan prema atmosferilijama.

Epidot. Monoklinski. Tvrdoća 6 do 7. Spec. tež. 3,3 do 3,5. Stubast. Zelen. $HCa_2Al_3Fe_3Si_3O_{13}$. Ima staklenu sjajnost. Postojan prema atmosferilijama.

Pregled važnijih metamorfnih stijena za građenje cesta

Vanjski izgled	Glavni mineralni sastojci	Ime stijene
Masivan	Omfacit i granat, andaluzit, kremen, kordierit, glinenac i t. d. Serpentin	Eklogit Rožnjac Serpentin
Škriljav	Kremen	Kvarcit, kremenov škriljac
	Amfibol i glinenac	Amfibolit
	Kremen, glinenac, granat, često i augit	Granulit, svijetli (bez augita) Granulit, tamni (sa augitom)
	Serpentin	Serpentinov škriljac
	Glinenac, kremen i jedan bojeni mineral	Gnajs: muskovit ili biotit gnajs, amfibolov gnajs, augitov gnajs
	Kalcit	Vapneni škriljac Mramorni škriljac
	Cementovana zrna kremena i drugih minerala	Sivac, škriljav pješčar
	Omfacit (smaragdit) i granat	Eklogitov škriljac

C. JEDNOSTAVNA FIZIKALNA I KEMIJSKA ISPITIVANJA

10. PONAŠANJE KAMENA PREMA VODI

Upijanje vode i omekšavanje kamena u vodi su svojstva, koja dolaze u obzir pri izboru kamena za građenje cesta. Upijanje vode (W) zavisi od međusobne veze, broja, oblika i veličine sitnih praznina, pogrešno izraženo od šupljikavosti kamena (uporedi str. 40). Strogo uzevši, kako je Kieslinger (1931.) pravilno naglasio, treba W izraziti u postocima volumena na ovaj način:

$$W_r = \frac{\text{količina vode}}{\text{volumen ispitivanog uzorka}} \cdot 100$$ (prividna šupljikavost prema DIN 2103). Ovu veličinu moguće je izraziti odnosom težine suhog uzorka (G) prema povećanju njegove težine u vodom zasićenom stanju (G_w — G):

$$W = \frac{G_w - G}{G} \cdot 100$$

Upijanje vode određujemo ovako: pokusni uzorak dobro očistimo, osušimo ga na nešto preko 100° C i odvagnemo do konstantne težine; zatim ga polagano uronimo u vodu. Za ispitivanja šljunka uzimamo od ove vrste obično komade s promjerom približno 40 mm. Ako je predviđeno i određivanje čvrstoće u suhom i mokrom stanju, tad se na istim uzorcima vrši još i ispitivanje sposobnosti upijanja vode. Poslije višednevnog ležanja u vodi izvadimo uzorke, pažljivo ih osušimo bugačicom, spužvom ili čistom krpom i opet im izmjerimo težinu; vaganje opetujemo poslije izvjesnog vremena do stalne težine. Na taj način izbjegnemo pogreške, koje mogu nastupiti zbog ispitiva-

nja uzoraka razne veličine i oblika. Primanje vode izraženo u postocima iznosi:

$$W = \frac{G_w - G}{G} \cdot 100$$

Obzirom na vrijeme upijanja vode možemo podatke cijeloga niza ispitivanja prikazati dijagramom (poredi A. Wintera). A. Rosiwal preporuča iskuhavanje pokusnog uzorka u čistom alkoholu, prije stavljanja u vodu. Puno zasićenje vodom nastupa često poslije više mjeseci; obično se vrijednost W mjeri poslije osmodnevnog ležanja uzorka u vodi.

DIN 2103 propisuje ovakav postupak ispitivanja:

Uzima se najmanje pet uzoraka jednake veličine, oko 50 cm^3 sadržaja, ili nešto više; vaganje se obavi točno na 0,1‰. Uzorci se uronjavaju u vodu najprije do ¼ visine, poslije jedan sat do polovine, poslije dva sata do ¾ visine i napokon poslije 22 sata preko cijele visine uzoraka; prvo vaganje obavlja se 24 sata kasnije (G_{24}) a daljnja vaganja svaka 24 sata. Podaci vaganja se odnose na G, G_{24} (G odgovara punom zasićenju vodom do konstatne težine). Upijanje vode izražava se kao stvarno povećanje težine u postocima težine i postocima volumena suhog uzorka (prividna šupljikavost).

Fill isključuje gotovo potpuno pogreške, koje mogu nastati pri raznim načinima sušenja, i to određivanjem upijanja vode po jednom novom postupku; on ga opisuje ovako:

»Uzorak kamena svežemo bakarnom žicom i izvažemo pod vodom po uobičajenom postupku. Budući da se gubitak težine uzorka smanjio samo za količinu upijene vode, može se upijanje vode odmah izračunati određivanjem težine suhog uzorka pod vodom (po prevlačenju parafinom).

Ako je

G_T = težina suhog uzorka
G_P = težina parafina
G_W = težina vode koju je upio uzorak
A_T = uzgon suhoga uzorka
A_P = uzgon parafina

G_t = težina uronjenog uzorka
G_2 = težina uronjenog, kod 110° C osušenog i parafinom prevučenog uzorka
G_D = težina žice
A_D = uzgon žice

tada postoji ovaj odnos:

$$G_1 = G_T + G_W + G_D - (A_T + A_D) \quad \ldots\ldots \quad 1)$$

$$G_2 = G_T + G_D + G_P - (A_T + A_D + A_P) \quad \ldots\ldots \quad 2)$$

za $A_P = \frac{G_P}{0{,}93}$ je upijanje vode

$$G_W = G_1 - (G_2 + 0{,}07\ G_P) \quad \ldots\ldots \quad 3)$$

Na prvi pogled može takav postupak izgledati i suviše detaljan u poređenju sa starim, jer su tamo potrebna samo dva, a ovdje četiri vaganja, koja tek dovode do rezultata. Prednost je ove metode u tome što su njome isključene mogućnosti pogrešaka, zbog čega se dobiju pouzdanije konačne vrijednosti. Sušenje otpada potpuno. Pokusni uzorak ostaje nedirnut za cijelo vrijeme dok je uronjen u vodu; otpada takoder gubitak u težini, koji bi mogao nastati opetovanim vađenjem i uronjavanjem uzorka zbog otkidanja čestica s površine kamena sušenjem (bugačicom). Ako vaganje pod vodom pokaže gubitak na težini, tada to treba pripisati procesu otapanja u vodi (Liebischer, 1934.). Napokon može se upijanje vode takvim postupkom odrediti u najkraćem vremenu.

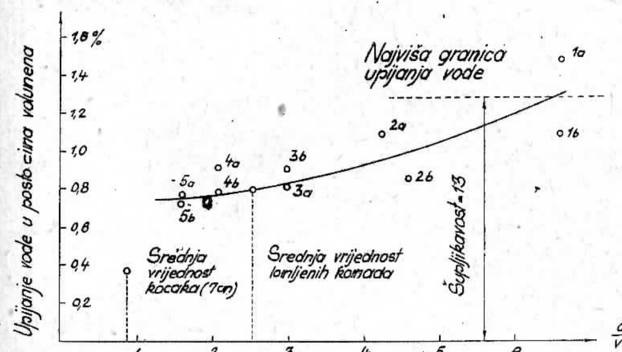
Prednost ove metode je, da se osim upijanja vode odredi i prostorna težina uzorka (prostorna težina $g = \frac{G^T}{A_T}$); iz jednadžbe 1) je $A_T = G_T + G_W\ (G_D - A_D) - G_1$; pri upotrebi bakarne žice, koja je do ⅔ svoje duljine uronjena u vodu, je približna vrijednost $A_D = \frac{G_D}{14}$, a prostorna težina

$$g = \frac{G_T}{G_T + G_W + \frac{G_D}{1{,}07} - G_1}$$

Fill (1934) tvrdi, da se vrijednosti upijanja vode mogu među sobom upoređivati samo tada, kad su određene na uzorcima, koji su imali približno jednak omjer površine i volumena; inače nastaju vrlo osjetljive pogreške (sl. 31.). Upijanje vode u kamenu, koji će se upotrebiti za građenje puteva, treba određivati na uzorcima približno jednake veličine (s promjerom oko 4 cm).

Pri katedri za tehničku geologiju na tehničkoj visokoj školi u Beču stavljaju vlažan uzorak u vodu, a težinu u suhom odrede tek poslije pokusa.

Brojka zasićenosti (stupanj zasićenosti: S) se odnosi približno na onaj dio cjelokupnog praznog prostora u pokusnom uzorku, koji doista bude ispunjen vodom, pod pogodnim uvjetima upijanja, i pod običnim pritiskom.



Sl. 31. Ispitivanje upijanja vode daje razne podatke, zavisne od odnosa površine i volumena ispitivanog uzorka. (Iz jednog rada dr. ing. R. Fill-a u Institutu za tehničku geologiju na Tehničkoj visokoj školi u Beču)

Određivanje ove veličine propisuje DIN 2103; iz uzoraka se isisava zrak u pregrijanoj vodi, pod pritiskom 20 mm živinoga stupca, sve dotle, dok zračni mjehurići ne prestanu izlaziti i dok težina uzoraka ne postane konstantna; za to je obično dosta tri sata vremena. Poslije toga se ostave pokusni uzorci dva sata u vodi pod običnim atmosferskim pritiskom. Napokon uzorke stavimo ponovo u pregrijanu vodu pod pritiskom 150 kg/cm² za vrijeme 24 sata, i poslije toga ih odvagnemo.

Budući da nježne stijenke među šupljinama u ispitivanom uzorku mogu pod jednosmjernim pritiskom popucati, to se ovaj

postupak smatra prilično grubim i samo približno točnim. Točniju brojku zasićenosti (S) dobijemo određivanjem upijanja vode pod običnim pritiskom, izraženom u volumnim postocima i u cjelokupnom zbroju praznih prostora, ustanovljenom vaganjem (str. 40) po formuli $S_r = \frac{W_1}{L}$, gdje je L = volumen cjelokupnog ispitivanog uzorka — volumen njegovog čvrstog dijela (bez šupljina).

DIN 2103 predviđa također ispitivanje upijanja kipuće vode. Uzorak za ispitivanje suši se dva sata na nešto više od 100° C; poslije, pošto se ohladio u eksikatoru, važe se (G) i potom stavi u posudu s pregrijanom vodom, ali tako, da uzorak nije potpuno uronjen u vodu. Poslije jednog sata doda se toliko pregrijane vode da uzorak bude potpuno u nju uronjen; zatim ga kuhamo dva sata, povremeno dolivajući vodu, jer uzorak mora stalno ostati uronjen. Napokon uzorak ohladimo u vodi, izvadimo i oprezno osušimo vlažnom krpom; onda ga odmah izvažemo (G_k). Tad izračunamo: $G_k - G_{tr}$,

$\frac{G_k - G_{tr}}{G_{tr}} . 100$ (upijanje vode u uteznim postocima), i upijanje vode u volumnim postocima ($\frac{G_k - G_{tr}}{G_{tr}} . 100$ prostorna težina) svedeno na suhi uzorak.

Kako pokusni uzorak ispušta vodu određuje se prema DIN 2103 na slijedeći način:

Uzorak zasićen vodom na gore opisani način, sušimo na približno 20° C iznad 98% sumporne kiseline. Eksikator za sušenje ima promjer 150 mm, visinu 100 mm i sadržinu oko 500 cm³; poslije svaka 24 sata određujemo ispitivanom uzorku (probi) težinu vaganjem, i zamjenjujemo sumpornu kiselinu u eksikatoru. Pokus je dovršen kad nastupi konstantna težina ispitivanog uzorka. Ispuštanje vode izračunavamo na sličan način kao i upijanje; tako na pr. u postocima težine:

$$\frac{\text{težina uzorka zasićenog vodom — težina osušenog uzorka}}{\text{težina osušenog uzorka}} . 100;$$

treba li ispuštanje vode izraziti u volumnim postocima, tad se gornja vrijednost pomnoži još s prostornom težinom probe (ispitivanog uzorka).

11. PROSTORNA I SPECIFIČNA TEŽINA

Prostorna težina (R) je težina jedinice prostorne zapremine probnog uzorka kamena (uključivši i prazne prostore u njemu). Ona zavisi u prvom redu od gustoće mineralnih sastojaka i šupljikavosti kamena. Određujemo je često neposredno na pokusnim komadima ili kockama kamena; takvim uzorcima odredimo prostornu težinu poslije sušenja na približno 100° C i vaganjem, po formuli: $R = \frac{G}{V} = \frac{\text{težina}}{\text{volumen}}$.

DIN 2102 propisuje točnost 0,1% za određivanje težine i 0,25% duljine, zaokruženo na dvije decimale.

Uzorci nepravilnog oblika moraju imati volumen najmanje 50 cm³; njih sušimo do konstantne težine (G) i potom uronimo u rastaljeni parafin. Poslije ohlađenja, uzorke ovijene parafinom, važemo ponovo (G_p). Prostornu zapreminu (J_p) odredimo prema navodu u poglavlju 7. Računom dobijemo (R) prostornu težinu, po formuli: $R = \frac{G}{J}$. Kako poznajemo specifičnu težinu (0,93) i težinu parafina (G_p — G), to čistu prostornu sadržinu uzorka izračunamo po formuli: $J = J_p - \frac{G_p - G}{d_p}$ (d_p = spec. težina parafina). Volumen parafina ne mora se ni uzeti u obzir; tad se izostavi vaganje uzorka ovijenog parafinom i onda je $R = \frac{G}{J}$.

Romanovicz H. predlaže da se ovijanje parafinom izvrši prije određivanja prostorne sadržine, koja se tada vrlo jednostavno dobije.

Ima još i drugih postupaka za određivanje prostorne težine; tako istiskivanjem pomoću žive (oprez, živa otrovna!), ili uronjavanjem uzorka zasićenog vodom, u vodu (oko 250 cm³), ili u zemno ulje. (Točnost ne

smije biti manja od 0,25 cm³). Poredi ovo sa navodom str. 40. Za ispitivanje šljunka i pijeska upotrebljavaju se često dovoljno velike baždarene posude, u koje saspemo i stresemo određenu količinu materijala; količinu vode, koju je potrebno dodati iz druge baždarene posude, da se ispune prostori među česticama, odbijemo od cijele sadržine baždarene posude (str. 41); Schuloff savjetuje da se voda pušta odozdo u baždarenu posudu za ispitivanje. U finozrnim materijalima ostane tada manje zračnih mjehurića. S istog razloga preporuča Stiny da se upotrebljava voda, koja je najmanje 10—20° C toplija od zraka u prostoriji za ispitivanje.

Prema DIN 2102 se određuje prostorna težina uzorka nepravilnog oblika ovako: uzorak (sa ne manje od 50 cm³ sadržine) se suši na približno 100° C do konstantne težine i važe u zraku (G_{tr}). Zatim se uroni u vodu (prema DIN 2103, v. str. 57), i vodom zasićen važe u zraku (G_s) i u vodi (G_{s1}), odatle se izračuna $R = \frac{G_{tr}}{G_s - G_{s1}}$ u g/cm³ (na 1/1000 zaokruženo).

Hidrostatska vaga je našla od vremena Oswald Meyera opsežnu primjenu (Fill, Liebscher i dr.); s hidrostatskom vagom se može postupati ovako: uzorak za ispitivanje se suši u sušioniku oko 100° C, ostavi u eksikatoru da se ohladi i zatim važe u suhom stanju (G). Iza toga uroni se uzorak u rastaljen parafin i važe sa ovojem od parafina ($G + G_p$). Napokon se uzorak važe pod vodom (P_1). Ako je V prostorna sadržina uzorka, a V_p parafina, tad se prostorna težina (R) ispitivanog uzorka izračuna po ovoj formuli:

$$P_1 = G + G_p - V - V_p; \; V = G + G_p - V_p - P_1; \; R = \frac{G}{V}$$

Mjesto prostorne uzima se često specifična težina (gustoća) čiste mase kamena; to znači težina jedinice volumena (1 cm³) čistog kamena bez pukotina i šupljina. U posve gustog kamena, bez pukotina i šupljina, jednake su vrijednosti za prostornu i specifičnu težinu; u šupljikavog i raspucanog kamena pada vrijednost prostorne težine ispod vrijednosti specifične težine tim više, čim kamen ima više praznih pukotinica, odnosno čim je šupljikaviji.

Specifična težina se određuje najbolje na sitno smrvljenom materijalu pomoću piknometra. Ako je G težina smrvljenog materijala u zraku, G_W težina piknometra s vodom, G_{W+p} težina piknometra sa smrvljenim materijalom i vodom, tad se specifična težina izračuna po formuli:

$$D = \frac{G}{G_W + G - G_{W+p}}$$

Za određivanje specifične težine treba 20 do 25 gr fino smrvljenog kamena (u krupnozrnog još i više, a u sitnozrnog manje).

Prema DIN 2102 uzima se 30 grama smrvljenog materijala, koji se prosije kroz sito sa 900 okanaca (sita br. 30. DIN 1171) bez ostatka; materijal se osuši do 100° C. Za mjerenje se preporuča sprava od Erdmenger-Manna (sa sadržajem 50 cm³). Određivanje se vrši na temperaturi od 20° C. Uzima se srednja vrijednost od 2—3 pokusa u g/cm³, zaokruženo na 1/1000. Pogreška određivanja < od 1/1000.

Erdmenger-Mannova sprava (sl. 32.) je staklena tikvica u koju unosimo fino smrvljen materijal. Iz druge staklene tikvice (sadržine 50 cm³) puštamo u staklenu tikvicu s materijalom benzol do oznake na grlu tikvice; laganom trešnjom tikvice istjeramo mjehuriće zraka; ako je benzol ispod oznake treba ga pustiti iz gornje staklene posudice točno do oznake. Potom pročitamo na dugačkom nastavku gornje staklene posudice zaostalu količinu benzola, koja upravo odgovara volumenu smrvljenog materijala u staklenoj tikvici.



Sl. 32. Sprava za mjerenje volumena, od Erdmenger - Mann-a

Stupanj gustoće (d) kamena izračunava se iz poznate prostorne (R) i specifične težine (D) po formuli: $d = \frac{R}{D}$. Stupanj gustoće pokazuje volumen čvrste usitnjene mase kamena, u jedinici volumena. Ako vrijednost stupnja gustoće odbijemo od jedan, tad dobijemo **stupanj šupljikavosti** (U) ili **pravu šupljikavost** (U = 1 — d). Ona je važna za ocjenjivanje otpornosti na

smrzavanju i zbog toga je pod stanovitim uslovima nepotrebno ustanoviti i koliko je primanje vode.

Pregled prostornih težina nekojih stijena od kojih se izrađuje materijal za građenje cesta (po B e c k e u, B u r r e u i t. d.):

Granit	2,60 do 2,73	Dijabaz	2,77 do 2,91
Sijenit	2,80 „ 3,06	Bazalt	2,83 „ 3,14
Diorit	2,65 „ 2,80	Serpentin	2,50 „ 2,60
Kremenov porfir .	2,40 „ 2,77	Sivac (grauvaka) . . .	2,55 „ 2,83
Trahit	2,10 „ 2,50	Vapnenjak ili krečnjak .	2,50 „ 2,70
Fonolit	2,20 „ 2,60	Dolomit	2,70 „ 2,85
Kvarcit	2,50 „ 2,60	Pijesak za građenje . .	1,30 „ 2,00
Kremenov pješčar .	2,40 „ 2,58	Šljunak	1,50 „ 2,00

12. KEMIJSKI SASTAV

N i g g l i pridaje osobitu važnost provađanju cjelokupne kemijske analize građevnog kamena; s naučnog stanovišta je ona potrebna. Za praktične svrhe, ako je štednja potrebna, može se odustati od potpune kemijske analize.

Tumačenje podataka kemijske analize treba vršiti oprezno; štetni mineralni sastojci koje otkrije kemijska analiza mogu biti posve bezazleni, ako su okruženi mineralima, koji su bez pukotina i otporni prema vremenskim promjenama. To se utvrđuje pregledom kamena u polarizacijskom mikroskopu. Dakle osim poznavanja štetnih minerala potrebno je znati oblik u kome se nalaze i podjelu među drugim mineralnim sastojcima u kamenu.

Sulfidi (spojevi metala sa sumporom) su u prvom redu štetni minerali u stijenama (pirit, markazit, pirotin, halkopirit); pod uplivom vode i kisika daju sumpornu kiselinu. Lako ih prepoznajemo prostim okom, još lakše pomoću lupe ili pod mikroskopom. U 1/10 solne kiseline razvijaju sumporovodik (miris!), koji smeđe ili crno oboji papir namočen olovnim acetatom.

Sulfide smatramo štetnim sastojcima i u rastresitim masama; ustanovljuju se na gore opisani način. Osim sulfida štetne su glinene i humusne tvari.

Količina praškastih i glinovitih sastojaka u kamenom materijalu za beton je različna i zavisna od njihove raspodjele; oni su manje škodljivi kad se nalaze odijeljeni od zrna, u njihovim međuprostorima. Glineni sastojci djeluju nepovoljno na sposobnost vezanja kamenih čestica s vezivom (cementom) i to tada, kad ih pokrivaju i umanjuju dodirnu površinu među njima. Približno može nam poslužiti pravilo, da utezna količina glinenih primjesa ne smije biti veća od 2 do 3%; dobro je izvršiti potrebna ispitivanja na takvom kamenom materijalu. O prisustvu glinenih čestica u pijesku dobije se brz i prethodan dokaz, ako pijesak saspemo u visoku staklenu posudu i snažno protresemo u vodi; tad promatramo količinu muteža u vodi poslije taloženja čestica pijeska.

Humusne tvari prepoznajemo lupom ili muljenjem (S t ö c k e) u $^{1}/_{5}$ l natrijeve lužine ($^{3}/_{100}$); u posudu za mjerenje stavimo oko 150 cm^{3} kamenog materijala i promatramo boju otopine poslije 24 sata. Dobri i uporabivi kameni materijali ne oboje otopinu, ili samo blijedo žućkasto.

Još uporabivi kameni materijali imaju žutu otopinu.

Jedva uporabivi kameni materijali imaju crvenkasto-žutu boju otopine.

Smeđe-žutu otopinu imaju kameni materijali, koji su neuporabivi za priređivanje betona.

13. PROMJENE DJELOVANJEM TOPLINE

O provođenju topline i sposobnosti zagrijavanja nalazimo brojčane podatke u gotovo svima udžbenicima tehničke petrografije (na pr. S t i n y 1929.). Stručnjaku za građenje cesta su važniji podaci o rastezanju minerala i građevnog kamenja pri zagrijavanju. Ono iznosi primjerice:

Rastezanje prema K. Schulzu (1914.)

Mineral odnosno kamen	Rastezanje u jednom smjeru	Prostorno rastezanje
Ortoklas	—	0,000017 do 0,000024
Kremen	Uporedo sa glavnom osi 0,00000781 Okomito na glavnu os 0,0000142	0,000038 do 0,000042
Amfibol	0,00000812 0,000000843 0,00000953	0,000028
Kalcit	Uporedo sa glavnom osi 0,0000262 Okomito na glavnu os 0,0000054	—
Vapnenjak ili krečnjak	—	0,0000081
Mramor	—	0,0000035
Granit	—	0,0000081

Mehaničko mrvljenje i usitnjavanje kamena opetovanim zagrijavanjem i ohlađivanjem, uzrokovano je u glavnom svojstvom svih minerala, izuzev onih teseralnog sustava, da se u raznim pravcima razno rastežu pri zagrijavanju. U kalcitu se primjerice odnosi rastezanje u dva međusobno okomita pravca kao 9 : 44, ili približno 1 : 5. U kamenu, koji je sastavljen od više različitih minerala dolazi jako do izražaja njihovo različito rastezanje; razlike u rastezanju u jednom smjeru dostižu ovdje okruglo 30-struku vrijednost. U takvom kamenu nastaju zagrijavanjem znatni naponi u raznim pravcima; opetovana rastezanja i stezanja slabe čvrstoću veze među mineralnim zrnima, struktura postaje slabija, i kamen manje otporan prema djelovanju raznovrsnih sila izvana. U kamenu s pravilnim vanjskim izgledom su i toplinski naponi pravilno orijentirani.

U područje proučavanja površinskog trošenja spada i štetno djelovanje prirodne topline na čvrstoću stijena (vidi poglavlje 14.); na ovome mjestu bit će ukratko spomenuto djelovanje umjetnog zagrijavanja na kamen u građevini.

Za pokus postojanosti u vatri zagrijavamo i potom brzo ohlađujemo kocku od prirodnog kamena; kad ona ostane čvrsta tad je smatramo otpornom prema zagrijavanju. Endell, Mautner i Grün-Beckmann su pokazali, da su kisele stijene (s mnogo kremena) slabije otporne prema djelovanju topline nego bazične; pokusi Stöcke-a (1928.) su pokazali, da je zdravo i tehnički jako vrijedno građevno kamenje (ne raspucano) otporno prema toplini do 500°; njihova se čvrstoća ne mijenja. Iverasta kamena sitnež, zbog toga što nema pukotinica, podnosi veću toplinu nego šljunak.

Što se tiče kamena za građenje cesta, dolazi često pitanje kako se on ponaša u toplini; tako na pr. pri izradi katranskog i asfaltnog betona (gdje usitnjeni kamen dolazi u izravan doticaj sa vrućim vezivom (temperatura 180° do 200° C). Po planu, ako je takav kameni materijal predviđen, mora se ispitati, da li će bez štete moći podnijeti brzo zagrijavanje do približno 200°C. Za tu svrhu pet do šest uzoraka šljunka (iverastih odlomaka kamena) zagrije se što je moguće brže u sušioniku do 200° C i potom se otvaranjem sušionika ohlade isto tako brzo. Poslije svakoga zagrijavanja i ohlađivanja treba promatrati da li su nastale pukotine, ili su se otkinule manje čestice s površine pokusnih uzoraka; vaganjem se konačno utvrdi da li je nastao i koliki je gubitak u težini. Ohlađivanje zagrijanih uzoraka može se pooštriti hladnom vodom. Ispitivanje promjena prema toplini nije suvišno po podacima Stöcke-a; ono otkriva i male štete, koje nastaju pri izradi tucanika; ono otkriva i moguću krtost kamena, kao i djelovanje gorskog pritiska na kamen. Stöcke je utvrdio poslije brzog ohlađivanja od 200° C da su otpadale primljetljive čestice među ostalima i od gustog bazalta, finozrnog dijabaza i sitno kristaliziranog kremenovog porfira i t. d.

Katkad pokazuju pokusni uzorci i »Sunčane pjege« u kamenu s nekog nalazišta.

14. OTPORNOST NA MRAZU I TROŠENJU
(Otpornost na djelovanje atmosferilija)

Pod otpornosti prema atmosferilijama podrazumijevamo postojanost stijene prema površinskom trošenju svake vrste.

Osim od strukture, sloga i t. d., otpornost stijene je zavisna također i od mineralnog sastava. Tako na pr. može pirit, ako je u stijeni u dodiru s mokrim zrakom, uzrokovati njezino brzo i duboko trošenje; kaolin i glinena supstanca, kao produkti trošenja glinenaca ili feldspata uzrokuju dalje raspadanje stijene.

Trošenje i sadržaj vode u uskoj su ovisnosti. Ako je voda u nekom kamenu vezana za muskovit, biotit, talk ili milovku i klorit, tim još uvijek nije umanjena otpornost takvog kamena prema atmosferilijama. Kad ovih listićavih minerala bude u stijeni u velikoj količini tad će proces trošenja biti znatno ubrzan duž njihovih pukotina. Ako su nosioci vode sekundarni minerali, koji su nastali površinskim trošenjem, tad oni ukazuju na to da stijena nije svježa; takvi su minerali (»koji opominju!«) među drugima i kaolin, kaolinit, nakrit, folerit, alofan, hidrargilit, zeoliti i mnogi drugi.

Za građenje cesta je važna otpornost neke vrste kamena i prema promjenama topline od sunca (gledaj poglavlje 13.). Žarke zrake sunca zagriju kamen oko podne (posebno ako je tamno bojen) do 60 ili do 70° C; nagli pljusak može vrlo brzo ohladiti stijenu na 15 ili još manje stupnjeva. Tuča najzad može ga ohladiti naglo i do točke smrzavanja vode. Prema toplini su osobito osjetljive t. zv. »Sunčane pjege«, koje se pojavljuju katkad u bazaltu, ali također i u drugim sivim i tamnim vrstama stijena, na primjer u fonolitu, melafiru, mončikitu i t. d.

Stijena sa »Sunčanim pjegama« raspada se u najkraćem vremenu u okruglaste i nepravilne komadiće veličine prosenog zrna ili lješnika; prije raspadanja pojave se na površini bijele pjege. U kamenolomu bazalta ne mogu se često pojave »Sunčanih pjega« zapaziti prostim okom; zbog toga je potrebno da ih na drugi način otkrijemo.

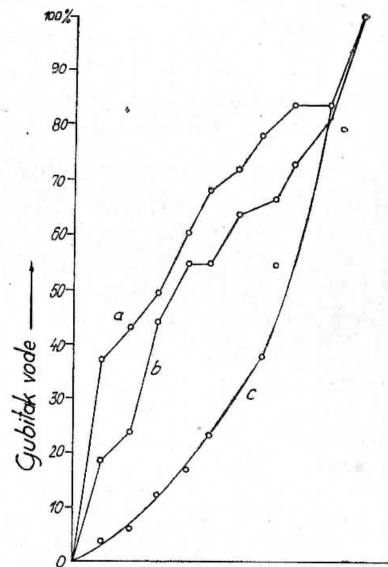
S t e u e r je tvrdio, da se u bazaltima s više od 46% kremične kiseline nikada ne pojavljuju »Sunčane pjege«, ali zato često u

onima s manje kremične kiseline. Bazalti bogati na nefelinu i staklastoj masi jako su skloni raspadanju u okruglaste čestice poput solike; pod uplivom sunčeve topline oslobađa se voda iz staklaste mase i t. zv. »Nefelinovog stakla« (B e r g, L e p p l a, S t i n y), koja prouzrokuje napone u staklastim masama; staklo raspucava po finim pukotinicama, koje omogućuju daljnje trošenje.

Svojstvo »Sunčanih pjega« u kamenu može se otkriti i kemijskim putem; pod mikroskopom ih otkrivamo po finim pukotinicama.

Sitne komadiće kamena kuhamo najprije u koncentriranoj solnoj kiselini i zatim u 5% rastopini sode; »Sunčane pjege« se pokazuju u svoj pravilnosti kao bijele pjege i bijele crtice; pokus nije uvijek pouzdan.

Po K. H o l l e r u (1930.) mogu se »Sunčane pjege« otkriti u svježem kamenu također promatranjem izbruska u mikroskopu. To su pjegaste nakupine svjetlo bojene mase i tanki slojevi bjeličaste staklaste mase, kojih je lom svjetla manji od loma kanadskog balzama. Takva mjesta izgledaju mutna i rastrošena i kamen se na tim mjestima lako raspada. H o l l e r smatra da su takvi staklasti ostaci mase srodni zeolitima. On ih utvrđuje i pomoću krivulja, koje pokazuju izlučivanje vode povećanjem temperature. U kamenu sa sunčanim pjegama krivulja je pravilna; u dobrom i zdravom bazaltu isprekidana; prekinuta mjesta krivulja odgovaraju većem izlučivanju vode na stanovitoj temperaturi (sl. 33.).



Sl. 33. Krivulja (c) pokazuje kako kamen sa »Sunčanim pjegama« ispušta vodu; dobar bazalt ispušta vodu po stepenastoj krivulji (a, b). (Prema K. Holler-u)

Za prepoznavanje »Sunčanih pjega« u kamenu postupa se i ovako: pomiješa se izvjesna količina fino smrvljenog bazalta i cinkova praha, i smjesi doda solna kiselina. Smjesa sa svježim bazaltom ne oboji otopinu, dok ona sa bazaltom u kome ima pomenutih pjega oboji otopinu ljubi-

često. Ako se prokapu doda amonijaka, tad bezbojna otopina od zdravog bazalta daje bijeli talog, a ljubičasta otopina od pjegavog bazalta daje zeleni talog.

Napokon, moramo razlikovati otpornost kamena prema smrzavanju (čvrstoća prema smrzavanju), prema kemijskom rastvaranju (otapanju) i prema nastanjivanju živih organizama; općenito se tada govori o otpornosti kamena prema djelovanju atmosferilija; u prirodi djeluju spomenute tri vrste procesa manje ili više zajedno i uporedo.

Ispitivanje otpornosti na mrazu

DIN 2104 procjenjuje otpornost na mrazu prema upijanju vode: a) pod običnim atmosferskim pritiskom, b) pod povećanim pritiskom (brojka zasićenosti, vidi str. 59) i c) prema ponašanju mokrih uzoraka pri ispitivanju otpornosti na smrzavanje.

Mokri uzorci, prema DIN DVM 2103, izvrgavaju se 25 puta opetovanom smrzavanju i otapanju u vodi. Za tu svrhu upotrebljava se tri ili pet kocaka ili deset komadića tucanika (ne manjih od 50 cm³), koje treba dobro očistiti prije pokusa. Prostor za smrzavanje ne smije biti suviše malen, a padanje temperature tako podešeno da nakon 4 sata iznosi najmanje —15° C. Takva temperatura mora ostati dva sata. Poslije svakog smrzavanja stavljamo pokusne uzorke u jednake porculanske zdjelice (staklene posude) sa iskuhanom vodom od oko 15° C, gdje ostaju najmanje dva sata. Poslije toga uzorke pregledamo s obzirom na mrvljenje uslijed smrzavanja, i odvagnemo. Na kraju pokusa ispari se voda u kojoj se vršilo otapanje i odredi težina smrvljenih ili rastopljenih dijelova.

Utvrdi se:

1. Težina prema DIN 2102 (prostorna težina) suhih uzoraka;
2. Težina prema DIN 2103 Ia mokrih uzoraka prije pokusa na otpornost prema mrazu;
3. Težina prema DIN 2103 Ia mokrih uzoraka poslije pokusa na otpornost prema mrazu;
4. Težina smrvljenih ili rastopljenih dijelova, svedena na težine suhih uzoraka;
5. Mišljenje o uzorcima poslije pokusa na otpornost prema mrazu.

Konačno se odredi još i čvrstoća uzoraka u mokrom stanju. Ispitivanje otpornosti prema mrazu ne mora se vršiti ako kamen upija manje od 0,5% vode (računajući na težinu suhog uzorka).

F i l l u n g e r (1930.) je iznio opravdane prigovore protiv austrijskih norma, koje propisuju ohlađivanje do 22° C. Budući da ispitivanja otpornosti prema mrazu imaju mnogo nedosta-



Sl. 34. Kamen koji se lako troši gubi brzo oštre bridove; uglovi postaju također zaobljeni. Bazaltov tuf u jednom strmom zidu; Orvieto, Postierla (Fot. autora 1930)

taka, zamjenjujemo ih proučavanjem promjene kamena u prirodi (sl. 34., 35.) u kamenolomima, na odlomljenim stijenama, siparima (i na građevinama), stupovima mostova, potpornim zidovima, nadgrobnim spomenicima, zatim proučavanjem upijanja vode, kao i mikroskopskim istraživanjem strukture. Kamen s mnogo malih šupljinica, kao i s izvjesnom količinom glinene supstance može biti nepostojan prema smrzavanju.

Brojka zasićenosti vodom daje približnu mjeru otpornosti prema mrazu. Raspadanje kamena smrzavanjem nastupa tada, kad u šupljinicama nema dosta mjesta za led, koji nastaje smrzavanjem vode. Raspadanje smrzavanjem će nastupiti u onom kamenu, kojemu je brojka zasićenosti vodom veća od 0,90. Hirschwald uzima za tu vrijednost broj 0,80, a u kamenu s pravilnim rasporedom šupljinica i s vezivom (cementom) koje omekšava u vodi, što više i vrijednost 0,7.



Sl. 35. Odlomljeni komadi kamena, koji je postojan prema atmosferilijama, zadržavaju stoljećima svoje oštre bridove i uglove. Kamenolom diorita Widys Söhne u Gebharts-u kod Schrems-a, Donja Austrija

Kako se mišljenja o ispitivanju još ne slažu pokazuju među ostalimipublikacije C. Schneidera, A. M. Schmölzera, Spačeka (1931.) i Honigmanna (1932.). Maddalena (1929.) je pokazao, da se način procjenjivanja otpornosti na smrzavanju po Tetmayeru ne može primijeniti na pješčare Apenina; ovdje ne postoji nikakva međusobna veza između čvrstoće na smrzavanju i razlike čvrstoće na pritisak u vodom zasićenom i suhom stanju.

Pokusi E. Erlingera i H. Kostrona (1933.) išli su zatim da se utvrdi potrebno vrijeme za ispitivanje promjena pri smrzavanju; prema rezultatima izgleda, da je vrijeme smrzavanja u dosadanjim normama suviše kratko. U jednom daljem radu objašnjavaju spomenuti autori (1933.) upliv sprave za smrzavanje na odnošaje ohlađivanja pri ispitivanju smrzavanja.

Seipp (1905.) i Leduc (1909.) su predložili skraćena ispitivanja otpornosti prema djelovanju atmosferilija.

Ispitivanja na smrzavanje, t. j. njegovi rezultati, zavise manje ili više od uslova ispitivanja. Najvažniji su: veličina i oblik pokusnog uzorka, veličina i oblik prostora za smrzavanje, specifična toplina i stepen topline pokusnog uzorka, trajanje smrzavanja, vlažnost pokusnog uzorka, vlažnost zraka u prostoru za smrzavanje, toplinski kapacitet, specifična toplina i kretanje tekućine za hlađenje, prostorna i vremenska podjela topline u uzorku i prostoru za smrzavanje, brzina ohlađivanja pokusnog uzorka, procesi pri otapanju ispitivanog uzorka i t. d. Kamen pri smrzavanju u prirodi upija vodu apsorpcijom (kroz fine pukotinice i cjevčice) ili prosto, uvlačenjem; ovo možda objašnjava mnoga neslaganja između promatranja u prirodi i katkad prividno oprečnog ponašanja neke vrste kamena u građevini.

Daljnje napomene o otpornosti na djelovanje atmosferilija

Prvi uvjet za otpornost kamena prema djelovanju atmosferilija je njegova »svježina«. Mineralni sastojci moraju biti neoštećeni; oni ne smiju pokazivati nikakve štetne znakove pretvorba ili metamorfoza. Osnovu za takva zaključivanja nalazimo većinom u svojstvima glinenaca ili feldspata; važnim pomagalima smatramo određivanjem tvrdoće (str. 97) i pregled pod mikroskopom.

Otpornost minerala važnih za cestogradnju pokazuju slijedeći podaci (neke vrste priručna pravila):

1. Vrlo otpornima smatramo:

Kremen ili kvarc (malo rastvorljiv u otopinama alkalijskih karbonata).

Muskovit i sericit gube vremenom samo u površinskom dijelu svoja alkalija; izdvajanje čistog SiO_2 traje dugo vremena.

Turmalin je vrlo otporan; tako isto **grafit, kordierit, andaluzit.**

Biotit je otporan u potpuno svježem stanju; **epidot, talk** ili **milovku, klorit** i **granate** rastvara polagano sumporna kiselina (sulfidi!).

2. Otpornima smatramo, ali nepostojanima primjerice u alkalijskim i ugljično kiselim rastopinama:

Apatit (osjetljiv prema sumpornoj kiselini).

Augite: slabo podliježu, otporni su.

Amfibole: zbog dobro razvijene kalavosti ili cjepljivosti lakše podliježu nego njima srodni augiti (pirokseni).

Glinence ili feldspate: bazični plagioklasi (bogatiji na CaO), **labradorit, bitovnit, anortit,** su neotporni prema kiselinama (sumpornoj i drugim kiselinama); otporniji su alkalijski glinenci i kiseli plagioklasi **(ortoklas, mikroklin, albit, oligoklas).**

Serpentin nije otporan prema vodi u kojoj ima ugljične kiseline; drugačije prilično otporan.

3. Umjereno otpornima smatramo:

Biotit, koji se listića, i ako je tek zahvaćen trošenjem; primarna crna sjajna boja zamijenjena je smeđe-crvenkastom i zlatno žutom.

Glinence ili feldspate bez sjajnosti i mutne na plohama kalavosti ili cjepljivosti.

Bazična prirodna stakla su osjetljiva prema sunčevoj toplini.

Kalcit i dolomit se otapaju u vodi u kojoj ima ugljične kiseline.

Olivin lako puca i osipa se kad se nalazi u nakupinama ili gnijezdima (gnijezda s olivinom).

4. Neotpornima smatramo:

Feldspate ili **glinence** jače zahvaćene trošenjem (zemljasti po površinama kalavosti).

Pirit, markazit, zeolite, minerale skupine kaolina, gips, anhidrit i t. d.

D. ISPITIVANJE ČVRSTOĆE (OTPORNOSTI)

Općenite primjedbe o čvrstoći (otpornosti) kamena

Od primjene zavise i pojedina ispitivanja neke vrste građevnog kamena; prema tome prednost ima ispitivanje čvrstoće na pritisak kao na pr. kod kamena za taracanje cesta, za svodove, visoke potporne zidove, lukove mostova i t. d. Po pravilu treba primjerice ispitivati kamen za posteljicu željezničke pruge na njegovu otpornost prema dinamičkim učincima (udarac, trajna čvrstoća). U stručnim ispitivanjima nisu dovoljne samo srednje vrijednosti ispitivanja, nego treba tražiti i najmanje i najveće (pojedinačne) vrijednosti, koje i ako u mnogim primjerima izgledaju slučajne, mogu pružiti vrlo dragocjenih podataka za ocjenu homogenosti ili raspucanosti kamena. Po njima se može pod stanovitim uslovima ocijeniti koje su lošije ili bolje vrste kamena u kamenolomu, kao i zaključiti, koja su daljnja i planska ispitivanja čvrstoće potrebna za stručno iskorišćivanje i primjenu kamena.

Ispitivanje čvrstoće prirodnog građevnog kamena pruža samo dobra i uporabiva uporišta, ali ne daje svakako naučno potpune i točne podatke. To je dobro uočiti da se sačuvamo od neopravdanog precjenjivanja ispitivanja čvrstoće.

Razlog za ograničenu točnost i sigurnost određivanja čvrstoće kamena leži u raznom prostornom dijeljenju (komadanju) kamena. Po Smekalu je »molekularna čvrstoća« mnogo veća od »čvrstoće« kamenog materijala bez pukotinica, a ova je opet mnogo veća od »iskoristive čvrstoće« (uporabljive čvrstoće) kamena. Čvrstoću kamena umanjuju prelomi i pukotine, i to u toliko više, ukoliko su bliže jedne drugima, i ukoliko potpunije prekidaju unutarnju vezu među mineralnim sastojcima kamena. Tako se može lako objasniti visoke vrijednosti za čvrstoće malih uzoraka, a niske vrijed-

nosti za čvrstoće velikih uzoraka istovrsnog kamena; za jedinicu, t. zv. »osnovno tijelo«, pri ispitivanju kamena uzima se dio kamene mase, koji je ograničen prirodnim pukotinama (str. 43). Blokovi, koji su sastavljeni od više takvih »osnovnih tijela«, predstavljaju već tijelo višega reda, koje ima sasvim druga svojstva čvrstoće.

Greger (1930.) upozorava da se ne ispituje čvrstoća kamena, kad je »svježe izvađen«, jer se dobivaju preniske vrijednosti. On preporuča ispitivanje samo onih uzoraka, koji su izvađeni najmanje pred tri mjeseca, i to zbog unutarnjih napona, koji se tečajem toga vremena izravnaju u kamenu. On misli da se može tromjesečno sušenje zamijeniti 14-dnevnim stajanjem uzoraka u vodi. Kamen je naime vrlo često ugrađen u cestu u mokrom stanju (kiša, vlaga iz zemlje!).

Svaka metoda ispitivanja ima izvore svojih pogrešaka. Srednja pogreška (m), pri nekom ispitivanju, može se izraziti sa $m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n-1}}$, gdje je Σa^2 zbroj kvadrata svih odstupanja pojedinih rezultata od aritmetičke sredine, a **n** broj pojedinih iznosa. Srednja pogreška je mjerilo točnosti za metodu ispitivanja. Ako ispitujemo razne uzorke s istog nalazišta, to se na sličan način dobije srednje odstupanje M vrijednosti od aritmetičke sredine:

$$M = \pm \sqrt{\frac{\Sigma a^2}{n-1}}.$$

Srednja nejednoličnost se izračuna odatle po jednadžbi:

$$m_u = \pm \sqrt{M^2 - m^2}.$$

Točnije o tome izlaže posebno H. Hoeffgen (1929.).

Kamen se lomi kada je njegova čvrstoća (otpornost) savladana (premašena). Po obliku razlikuje se **prelom dijeljenjem**, kad je savladan otpor protiv dijeljenja (čvrstoća protiv kidanja) ili otpor protiv poprečnog rastezanja, i **prelom klizanjem**, kad je savladana čvrstoća protiv smika u plohama najvećega naprezanja na smik. Između ova dva oblika preloma nalazi se **prelom pomicanjem**; kod njega djeluju naprezanje na smik i normalno naprezanje u raznom odnosu, pri savladavanju čvrstoće (Leon). Pri ispitivanju na vlak primjerice, nastaje u kamenju prelom dijeljenjem; pri ispitivanju na pritisak nastaje prelom pomicanjem, koji je vrlo sličan prelomu klizanjem. Pod hidrostatskim pritiskom nastaju u kamenu značajne trajne deformacije.

15. ČVRSTOĆA NA PRITISAK (TLAK)

Čvrstoća na pritisak nema više za savremeno građenje cesta veliku važnost. Za pokusni uzorak uzimamo kocku ili valjak (cilindar).

Kocke (»čvrstoća materijala u obliku kocke«) se pile od neotesanog bloka ili komada kamena (DIN 2105) i potom ravno izbruse. Kostron (1933.) upozorava da razlike u načinu »rezanja« mogu izazvati nejednako jaka poremećenja kamena; podaci za čvrstoću su različiti već prema upotrebljenom alatu (gater, kružna pila); zato treba kocke priređivati po jedinstveno postupku. Pri piljenju treba paziti na položaj slojnih ploha.

Točnost, koja se postigne pri ispitivanju čvrstoće na pritisak, ne zadovoljava; DIN 2105 preporuča, da vrijednost zaokružimo na cijelih 10 kg/cm². Ima odstupanja od srednje vrijednosti i za 30 i više %. Hoeffgen (1929.) je iznio za srednju pogrešku pri ispitivanju granita vrijednost ± 279 kg/cm². Na vrijednost uplivaju: način priređivanja uzorka za ispitivanje (vidi gore), veličina i oblik uzorka, točnost preše i njezinih kazaljki, vanjski izgled uzoraka i raspored mineralnih zrna u odnosu prema smjeru pritiska, ravna površina uzorka za ispitivanje i uporednost njegovih ploha, brzina opterećenja, da li je uzorak bez pukotina i t. d.

Valjci (»čvrstoća materijala u obliku valjka«) se režu od kamena šupljim svrdlom. Obadvije suprotne plohe na koje će djelovati pritisak moraju biti upravo tako pažljivo obrađene kao i u kocke za ispitivanje. One moraju biti paralelne podlogi i okomite na plašt valjka. Visina valjka može biti jednaka promjeru (Švedska) ili jednaka $\sqrt{d}$ (d = promjer).

Ako želimo isprobati čvrstoću kamena, veličina pokusnog uzorka ravna se prema primjeni kamena. Za određivanje pri-

tiska uzima se tucanik (valjak) s dužinom brida 25—50 mm; zbog toga što će komad kamena pri izrađivanju tucanika pucati duž pukotina, po plohama s najmanjim otporom, preporuča se i pokusne kocke izrezati od tako usitnjenog materijala; na takav način se dobiju vrijednosti, koje se približuju zahtjevima pri upotrebi kamena.

Krupnozrni kamen se rijetko upotrebljava za tucanik; u takvom slučaju su potrebne veće dužine bridova uzorka za ispitivanje; tako na pr. granit s velikim glinencima, trahit s velikim utruscima sanidina, breče, okcati gnajsi; ako ih upotrebimo za tucanik tad će se podaci ispitivanja čvrstoće na pritisak bolje slagati sa stvarnim stanjem kad se ispitivanja izvrše na manjim uzorcima, približno 3—4 cm dužine brida. Da se izbjegne uplivu promjenljivog mineralnog sastava i drugih različitih svojstava na rezultate ispitivanja, vrše se ona na što većem broju uzoraka; jake razlike u dobivenim vrijednostima odrazit će se u nejednakom ponašanju tucanika u posteljici željezničke pruge; takvi podaci već upućuju, da se krupnozrne vrste kamena ne upotrebe, jer ništa ne pospješuje razaranje posteljice željezničke pruge tako kao nejednako habanje ugrađenog kamena.

Uzorci za ispitivanje kamena za pločenje moraju imati dužinu brida 7—10 cm, a lomljenika za podlogu još i veću (15 cm i više). DIN 2105 propisuje za tucanik najmanju dužinu brida 4 odnosno 6 cm (krupnozrn ili nehomogen kamen).

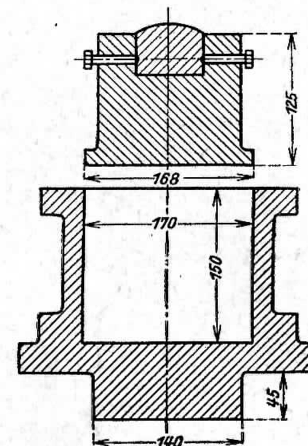
Savezni austr. zavod za ispitivanje obavlja pokuse po Quervain-u (1931.) na kocki 7 cm dužine brida i poslije 28-dnevnog sušenja. Niggli (1928.), želi sredinu od najmanje pet ispitivanja (u suhom, vodom zasićenom i vodom zasićenom stanju poslije 25 puta smrzavanja).

Kad je istovrstan kamen ispitivanje se vrši najmanje na 3, bolje na 5 do 9 kocaka, a kad je kamen raznovrstan, na 9 do 12 kocaka. Kocke treba prije ispitivanja osušiti na umjerenoj temperaturi (oko 60° C) ili u prostoru s razrijeđenim zrakom (DIN 2105). Ispitivanje se može izvršiti na kojoj god mašini, koja udovoljava propisima DIN 1604.

Ako se plohe, na koje se vrši pritisak, ne namažu gustim uljima, tad trenje na plohama pritiskivanja sprečava poprečno rastezanje ispitivanog uzorka. Mazanjem gustim uljima omogućuje se poprečno rastezanje na cijeloj visini pokusnog uzorka; kamena kocka popuca po plohama, koje teku približno uporedo smjeru pritiskivanja; istodobno nastupa lomljenje kamena već na okruglo 50% manjem opterećenju. Čvrstoća na pritisak raste općenito s brzinom opterećenja. Da se dobiju uporedivi i za građenje vrijedni podaci, mora se ispitivanje vršiti uz malu brzinu opterećivanja, uvaživši i veličinu plohe na koju se vrši pritisak. Povećanje napona u uzorku mora stalno iznositi kojih 12 do 15 kg/cm² na sekundu (DIN 2105).

Kamen kojemu je upijanje vode preko 0,5% od težine mora se ispitivati i u stanju natopljen vodom (uporedi str. 70), a osim toga i na smrzavanje (DIN 2105).

Kamen sa škriljavim, vrlo slojevitim ili pjegavim vanjskim izgledom, ima jako različnu čvrstoću na pritisak, zavisno od toga, da li pritisak djeluje usporedno ili okomito na škriljavost ili slojevitost. U takvom kamenu vrše se ispitivanja na dvostrukom broju uzoraka; na jednoj polovini usporedno a na drugoj okomito na škriljavost ili slojevitost. DIN 2105 traži da se promjena čvrstoće na pritisak usporedno sa škriljavosti, odnosno slojevitosti, izrazi u stotim dijelovima čvrstoće okomito na škriljavost, odnosno na slojevitost.



Sl. 36. Čelični mužar za ispitivanje čvrstoće tucanika na pritisak

Kako se ispituje čvrst kamen tako se može ispitivati i rastresit kamen na čvrstoću na pritisak. Državni zavod za ispitivanje materijala Berlin—Dahlem uzima 3 kg tucanika (zrno 35—60 mm), koji ispituje u čeličnom mužaru s promjerom 170 i dubinom 150 mm (sl. 36.). Jedan zatvarač prenosi pritisak od 40 tona. Najveći pritisak se postigne poslije 1½ minute. Zatim se pokusni uzorak prosije kroz sita od 5, 10, 15, 20, 35 mm promjera okanaca.

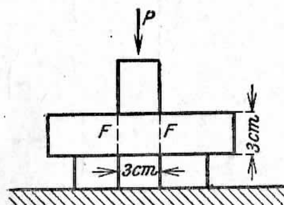
Zavod za ispitivanje kod državnih željeznica u Kassel-u uzima mjesto jednakih težina jednake volumene tucanika, jer polaže daleko veću važnost, da proba, također obzirom na oblik usitnjenih čestica, odgovara dobroj srednjoj probi (da sadržava iveraste, okruglaste ili pločaste komadiće). Ocjenu tucanika treba izvršiti na osnovu modula finoće materijala prije i poslije ispitivanja (A b r a m s).

Modul elastičnosti u kg/cm², određen iz elastičnog rastezanja pod pritiskom (prema B u r c h a r t z-u, S a n g e r-u i S t ö c k e-u).

Bazalt	562 500		973 000	1077 880
Dijabaz	692 300		759 500	789 500
Porfir	679 200			
Granit	515 800	531 000	592 100	614 300
Pješčar	430 600			
Bazalt, šupljikav (troskast) . . .	334 600			

16. ČVRSTOĆA NA SMIK (SMICANJE) I NA ODREZ

Čvrstoća na smik je u kamenu rijetko ispitivana, premda se kamen u suvremenoj cesti opterećuje u velikoj mjeri na takvu čvrstoću. Prema novim pogledima (H o e f f g e n 1929.) bilo bi određivanje čvrstoće na smik u kamenu za cestogradnju mnogo važnije nego određivanje čvrstoće na pritisak; s tim gledištem možemo se bez kolebanja složiti. Za takva ispitivanja treba prije svega izraditi metodiku. Gredu izrezanu od kamena G a b e r (1929.) polaže na dva uporišta razmaknuta za širinu pritiskivača.



Sl. 37. Uređaj za ispitivanje čvrstoće kamena na smik. Može se umetnuti u svaku veću prešu.

$$\tau = \frac{P}{2F} \text{ kg/cm}^2$$

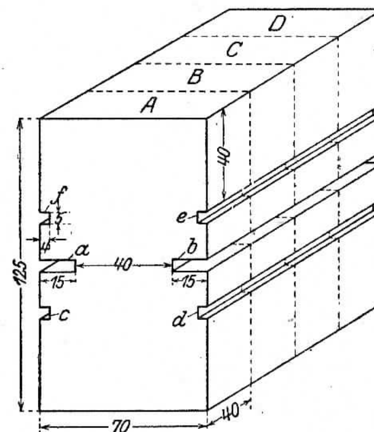
Sl. 37. prikazuje spravu za takvo ispitivanje u zavodu za tehničku geologiju na Tehničkoj visokoj školi u Beču.

17. ČVRSTOĆA NA VLAK I ČVRSTOĆA NA KIDANJE

Za ispitivanje čvrstoće kamena na vlak upotrebljavaju se osmerokutna tijela, kao i pri ispitivanju betona, ili po H i r s c h w a l d u komad s oblikom kako to prikazuje sl. 38.; takav se komad ispili u ploče, koje se ulažu u sprave za rastezanje.

Čvrstoća kidanja je po P. Ludwiku mjera za jačinu unutarnje povezanosti (kohezija, povezanost zrna). Ako se tijelo raskine u dva dijela tako da se na njima ne pokazuju nikakve trajnije vidljive promjene, tad tijelo nazivamo »potpuno krhkim« (idealno krhkim). Granična čvrstoća kidanja je također granica elastičnosti.

Ima malo tvari koje su potpuno krhke (str. 88), veći broj deformira se već ispod granice kidanja; u tome slučaju se kohezija i plastična deformacija upotpunjavaju.



Sl. 38. Oblici i mjere uzoraka za ispitivanje čvrstoće kamena na vlak (Prema J. Hirschwald-u). A, B, C, D su ploče, koje se pile iz bloka kamena.

18. ČVRSTOĆA NA SAVIJANJE

Savijanje ploče nastaje kad vanjske sile djeluju na nju okomito, i u njezinom svakom poprečnom prerezu izazovu par sila, kojima je ravnina okomita na ravninu poprečnog prereza. Najveći napon pri kome ploča pukne zove se čvrstoća na savijanje. Prema tome da li prelom ploče nastane zbog zbijanja zrna na strani pritiska, ili zbog kidanja zrna na strani vlaka, čvrstoća na savijanje je napon na pritisak ili na vlak. U kamenu je čvrstoća na savijanje uvijek napon na vlak.

Premda su materijali za građenje cesta izloženi i savijanju, obično se ne traži ispitivanje čvrstoće na savijanje; ona može biti zamijenjena ispitivanjem čvrstoće na smik (Poglavlje 16., str. 80).

19. ČVRSTOĆA NA PRIONJIVOST I SPOSOBNOST VEZANJA

Čvrstoća kojom prione katran, bitumen, vodeno staklo, mort i t. d. za površinu kamena smatra se važnim svojstvom. Postupak za neposredno ispitivanje takve čvrstoće nije još utvrđen; međutim ispitivanja se vrše već duže vremena posrednim putem.

Već pri građenju starih puteva, gdje je voda vezala, polagali su važnost na to, da zrna u masi pokrivača kolnika imaju izvjesnu silu unutarnjeg vezanja.

Po F. Prouty-u (1911.) u Americi smatraju niskom sposobnosti vezanja, kad opeka od kamenog brašna, vezana vodom, izdrži manje od 10 udaraca čekićem; umjerenom kad izdrži 10—25; dobrom od 26—75; vrlo dobrom od 76—100, i odličnom kad izdrži više od 100 udaraca čekićem. Uporedi švedski postupak ispitivanja (str. 83.).

Sposobnost vezanja raznih vrsta kamena iz Alabame, prema ispitivanjima U. S. office of public roads, pokazuju slijedeći podaci:

	Najviša vrijednost	Najniža vrijednost		Najviša vrijednost	Najniža vrijednost
Amfibolit	235	11	Granit	255	3
Andezit	> 500	19	Vapnenjak (krečnjak)	> 500	10
Bazalt	> 500	4	Mramor	85	15
Dijabaz	> 500	2	Lapor	> 500	96
Diorit	148	9	Peridotit	30	25
Dolomit	179	9	Kvarcit	45	0
Eklogit	130	15	Riolit	> 500	10
Gabro	115	6	Pješčar	> 500	3
Gnajs	110	1	Glineni škriljac	367	28
			Sijenit	375	16

I u Švedskoj se na sličan način vrše ispitivanja čvrstoće vezanja kamena. Ragnar Schlyter (1927.) opisuje postupak i sprave (preše za opeke i uređaj za udaranje). Usitnjeni materijal u drobilici se prosije. Od ostatka na situ 8 odvagne se 500 g i sa 90 cm³ vode miješa u mlinu sa kuglama za vrijeme od 5000 okretaja. Od tako dobivenog tijesta izrade se odmah pokusne kocke s dužinom brida 25,4 mm i stave pod pritisak 670 kg; potom se kocke suše 20 sati na sobnoj temperaturi i 4 sata u peći za sušenje na 100° C; poslije toga hlade se 20 minuta u eksikatoru. Tako osušene kocke pažljivo se obruse smirak-papirom, ali tako da im visina bude točno 25,4 mm. Tad se odvagnu i stavljaju u uređaj za udaranje. Na takvu kocku pada čekić težak 1 kg s visine 1 cm svake sekunde jedamput. Broj udaraca bilježi stroj. Pokus svršava kad deformacija iznosi više od 5 mm. Broj udaraca potrebnih da izvrše takvu deformaciju smatra se mjerilom sposobnosti vezanja pokusnog kamena. Konačnu vrijednost predstavlja sredina od isprobanih 12 kockica. Ispitivanje švedskog kamenja i minerala prikazuju slijedeći brojevi:

Dijabaz	5 do 49	Pješčar	3 do 13
Gnajs	9 „ 28	Glinenac	12
Vapnenjak	23 „ 25	Kremen	1
Granit	6 „ 22	Tinjac (liskun)	0

Kremen ili kvarc i tinjac ili liskun sami po sebi ne vežu. Ako su izmiješani, tad vežu dobro. Najveća vrijednost vezanja dobije se od smjese 40% tinjca i 60% kremena. Glinenac ili feldspat gubi na sposobnosti vezanja kad mu se dodaje kremen.

Prianjanje bituminoznih tvari za kamen može se po Riedelu i Weberu ocijeniti na slijedeći način: u pokusnoj cjevčici izmiješa se dobro fini pijesak (promjer zrna 0,2—0,6 mm) s vrućim bitumenom u odnosu 30 : 70, i ostavi da se ohladi; potom se kuha 10 minuta u vodi, pri čemu se bitumen odvoji od onih minerala za koje slabo prianja (kremen, tinjac). Bitumen prianja dobro za vapnenjak ili krečnjak i većinu bazalta, lošije prianja za kremenov porfir, loše za kvarcite i mnoge amfibolite i granulite.

Krüger (1926.) predlaže da se smjese s katranom i asfaltom za građenje cesta ispituju na slijedeći način: od smjese izrade se prizme s dimenzijama 10 × 10 × 30 mm i poslije 48 sati podvrgnu ispitivanju čvrstoće na smik. Čvrstoća na smik može

poslužiti kao mjerilo za međusobno vezanje kamena i bitumena (ili katrana). Za najsitnije frakcije postupa se slično; od njih se izrade s bitumenom pokusni uzorci, koji se podvrgavaju ispitivanju na pritisak ili na kidanje (G o n e l l, 1934., W i l h e l m i, 1931.).

Sposobnost prianjanja materijala za građenje cesta je zavisna osim toga od hrapavosti, kao i drugih osobina površine kamena.

Budući da je teško odrediti stupanj hrapavosti (poredi str. 16.), u takvom obliku da se može usporediti, predlaže T o r n q u i s t da komad kamena s poznatom površinom uronimo u vezivo; rad koji je potreban da se takav komad izvuče iz mase daje mjeru za sposobnost vezanja površine pokusnog uzorka. A m o s prilijepi pokusnu kocku kamena pod pritiskom 20 do 25 kg/cm² i mjeri silu, koja je potrebna da se kocka odlijepi. Autor misli, da je jeftinije priređivati pokusne valjke. D o w upotrebljava za ispitivanje prianjanja kamenog praha i asfalta 0,5‰ otopinu asfaltnog cementa u sumpornom ugljiku.

Usitnjeni materijal s hrapavom površinom ima veću čvrstoću na vlak nego materijal s glatkom površinom (na pr. riječni šljunak). Materijali, koji se, obzirom na kemijski sastav, na površini otapaju u dodiru s vodom i cementom, imaju bolju čvrstoću na prionjivost od onih koji ne reagiraju; reagira primjerice vapnenjak, šlake svih vrsta (prirodne kao i umjetne), plovučac, opeke i t. d. Na čvrstoću na pritisak, prema ispitivanjima G r ü n a (1934.), jedva da utječe vrijednost hrapavosti usitnjenih materijala.

Prema iskustvu u Švicarskoj s površinom zastora puta, kojega je skelet od šljunka, zavisi vezanje komadića bitno od šupljina, koje ostanu otvorene poslije valjanja. Alpski šljunci s oštrim bridovima, kao na pr. oni od kremenastih vapnenjaka, ostavljaju nakon dužeg valjanja, zbog svojih klinastih oblika, samo tu i tamo koju šupljinicu (poru); one ostaju pri ujednačenoj veličini zrna otvorene i u njih može zaći vezivo. Znatno nepovoljniji su u tom pogledu riječni šljunci razne starosti i kakvoće. Šupljine ostaju i u njima otvorene, ali su nejednolike; mekanije vrste kamena raspadaju se pod valjkom i ispunjavaju nejednolike zaostale šupljine među čvršćim komadićima. Posredno vezanje komadića šljunka smrvljenim materijalom je slabije od neposrednog, u kome su oštrobridni fragmenti klinasto zabijeni jedni među druge; zrna prema tome u prvom slučaju nisu nepokretna nego manje ili više pokretna, i zbog toga nastaju jasno vidljivi valovi u zastoru puta (V e s p e r m a n n, 1934., 2. dio).

Jurski vapnenjaci u Švicarskoj podnose samo lagano valjanje; oni primaju malo veziva i ono ubrzo s njih otpane (u toliko lakše što je vapnenjak gušći, na pr. gusti vapnenjak malma).

20. UDARNA ČVRSTOĆA, ŽILAVOST I KRHKOST

Udarnu čvrstoću izražavamo radom, koji je potreban da se neko tijelo prelomi. U udarnoj čvrstoći, protivno dosadašnjim statičkim, susrećemo se često s opetovanim dinamičkim učincima; pri tomu mora se računati s nekom vrstom trajne čvrstoće. Takva čvrstoća je odlučna za primjenu prirodnog kamena u građenju cesta i željezničkih pruga. Ona je ovdje važnija i od čvrstoće na pritisak. Udarna čvrstoća i čvrstoća na pritisak ne stoje uvijek među sobom u pravilnom odnosu.

Za utvrđivanje udarne čvrstoće ima raznih načina ispitivanja (čekić po P a g e u u Americi, Švedskoj i dr.). Žilavost kamena ispituje F ö p p l na kocki s bridom 3,5 cm i pod čekićem teškim 50 kg. Udarci slijede sa stalno povećavane visine (na pr. 2, 4, 6, 8, 10 cm i t. d.) dok kocka ne pukne. Cjelokupni rad je predstavljen zbirom svih udaraca, a izražava se kao veličina razlomkom: $\text{brojka vrijednosti} = \frac{\text{cjelokupan rad}}{\text{volumen ispitivanog uzorka}}$. Po F ö p p l u imaju pješčari brojku vrijednosti 15 do 25, graniti oko 217, sivac (grauvaka) 537, bazalt 263 do 819. Mjeru za žilavost (krhkost) izražava F ö p p l vrijednošću:

$$S = \frac{\text{brojka vrijednosti u cmkg/cm}^3}{\text{čvrstoća na pritisak u kg/cm}^2}.$$

Po Quervainu vrše takvo ispitivanje u Švicarskoj na kocki s dužinom brida 7 cm i povisivanjem pada čekića centimetar po centimetar.

Žilavost kamena može se procijeniti u stanovitoj mjeri i na osnovu t. zv. »broja odskoka kugle«, kao i na osnovu raznih ispitivanja pritiskom kugle.

O vrijednosti Föpplovih postupaka iznesena su u zadnje vrijeme razna mišljenja (Schneer, Stöcke, Stübel i t. d.).

Ispitivanja Burchartza, Saengera i Stöckea (1933.) su pokazala, da na rezultate ima vrlo jakog upliva i materijal podloge. Na njihov poticaj bila je primljena u nacrtu DIN DVM 2107 odredba, po kojoj podloga treba da ima (po Brinellu) čvrstoću od 200 kg/mm², a udarna ploča oko 500 kg/mm².

Ostali propisi njemačkih norma, u koliko se razlikuju od gornjih jesu: dužina brida pokusnog uzorka 4 cm; zupčana prečka, koja zahvaća uteg (50 kg) poslije odskoka; visina odskoka se može pročitati (razmak zubaca 5 mm). Pokusni uzorak mora biti uvijek postavljen na sredinu čeličnog uloška (podloge); na njega se postavi nastavak (udarna ploča), koja je s donje strane ravna, a s gornje kuglasto završena.

Po pravilu, ispitivanje se obavlja na pet uzoraka; katkada se ispituju i vodom zasićeni, opetovano smrzavani, uzorci (kamen koji upija mnogo vode; kamen koji je nepostojan na smrzavanje).

Visina prvog udarca se odmjeri tako, da na 1 cm³ ispitivanog uzorka otpane 2 kg/cm² rada udaranjem (0,04 cm po 1 cm³ ispitivanog uzorka s težinom 50 kg). Za svaki slijedeći udarac poveća se visina pada za visinu prvog udarca.

Udarna čvrstoća $\left(\frac{\text{rad udaranjem}}{\text{volumen}}\right)$ izražava se u cmkg/cm², zaokruženo na cijeli broj; uzima se sredina od 10 ispitivanja.

U. S. office of public roads ispituje udarnu čvrstoću pomoću malja; visina u cm s koje malj padanjem razbije pokusni uzorak daje mjeru za »toughness« kamena. Vrijednosti ispod 13 su preniske, između 13 do 15 srednje, a preko 19 visoke. Prouty daje slijedeće vrijednosti za udarnu čvrstoću:

	najviše	najniže		najviše	najniže
Pješčar . . .	60	2	Kvarcit.	30	5
Dijabaz . . .	54	4	Dolomit	27	4
Andezit . . .	44	7	Chert (kremenova stijena) . .	26	5
Riolit	42	2	Vapnenjak . . .	25	2
Bazalt	39	6	Gabro	22	10
Sijenit	34	8	Peridotit	12	12
Diorit	34	8	Mramor	9	3
Granit	31	2			
Eklogit . . .	31	14			

B. H. Knight je ispitivao kamen za građenje cesta po postupku Deval i Dorry (habanje) na mrvljenje i udarnu čvrstoću (Page-postupak), a poslije toga i mikroskopski. Na osnovu svojih podataka dijeli kamen za građenje puteva u dvije skupine.

U prvoj skupini nalazi se kamen, koji pokazuje jasan odnos između čvrstoće na pritisak i na udarac, kao i između habanja i njegovog stanja u zastoru puta. Po takvom se postupku može ocijeniti vrijednost mnogih pješčara, vapnenjaka, bazalta.

U drugoj skupini kamen, koji ne pokazuje nikakav jasan uzajamni odnos čvrstoće na pritisak i udarac prema ponašanju kamena u zastoru puta i habanju. U običnih granita, gnajsa, drugih kristalastih škiljaca i kvarcita, podaci o čvrstoći na pritisak dovode često do pomutnja.

Po shvaćanju Knight-a, između svih fizikalnih ispitivanja najpouzdanija je udarna čvrstoća po Pageu, i ako nije bez pogreške. Podaci za habanje po ispitivanjima Dorrya od neznatne su vrijednosti. Knight misli da nije dobro ocjenjivati vrijednost kamena samo po jednom jedincatom postupku ispitivanja.

U državnom zavodu za ispitivanje materijala Berlin-Dahlem ispituje se čvrstoća tucanika u mužaru opisanom na str. 79, koji je upotrijebljen i za ispitivanje pod pritiskom (sl. 36.). U Föppl-ovom uređaju udara 50 kg težak malj 20 puta s visine 50 cm. Stepen usitnjenosti određuje se prosijavanjem kroz sita

sa okancima promjera od 10 mm; osim toga prosije se usitnjeni materijal i kroz sita sa okancima od 5, 15, i 30 mm promjera. Gubitak na težini poslije prosijavanja kroz sito sa okancima od 10 mm promjera izrazi se u postocima prvašnje težine.

Mužar za ispitivanje se puni do visine od 10 cm. Može se dogoditi da u mužaru leže jedan povrh drugoga dva do tri komada tucanika, velika 3 do 6 cm. Ovo još više jamči, da će udaranje zahvatiti, s mogućom nesmanjenom silom, cijeli probni uzorak u mužaru, a ne samo njegov najgornji dio. Općenito se uzima za pojedino odredivanje 3 kg tucanika. Tucanik treba brižljivo protresti u mužaru.

Već je malo prije napomenuto, da sve veći saobraćaj stalno nameće potrebu za što većim poboljšanjem cestovnih zastora; tome treba po mogućnosti prilagoditi i postupak ispitivanja.

O. Grafu dugujemo zahvalnost za važne podatke o trajnoj čvrstoći. U bazalta i ljušturnog vapnenjaka pokrivaju se opterećenjem i odterećenjem uzlazni i silazni krakovi linija stiskanja; u krupnozrnog granita i šarenog pješčara leže linije odterećenja osjetljivo niže od linija opterećenja. Voda utječe na elastičnost mnogih vrsta građevnog kamena. Pješčar i granit su podatniji kad su zasićeni vodom, nego kad su suhi; ljušturni vapnenjak je bio nešto otporniji (krući), a bazalt nije pokazivao znatnije razlike.

Pojmove »žilavost« i »krhkost« treba strogo razlikovati od slično suprotnih pojmova »elastičnost« i »plastičnost«. Elastičnost je sposobnost primanja rada, koji izvrši deformaciju tijela i vrati mu njegov prvotni oblik, dok je plastičnost sposobnost primanja rada, koji izvrši deformaciju tijela, ali ne vrati i njegov prvotni oblik (Sachs).

Krhkost (str. 81) je mala sposobnost izmjene oblika (Schob). U vrlo osjetljivom mramoru sežu pukotine, koje su nastale djelovanjem brizantnih eksploziva, često vrlo daleko. Krhkost treba tumačiti unutarnjim naponima, izazvanim gorskim pritiskom (u pojedinim zrnima kremena), brzim ohlađivanjem (u prirodnim staklima, sanidinu), velikom snagom kristalizacije iz

otopina (djelomično kremen, mnogi mramori) i t. d. Takav kamen podnosi samo mirna, ne brza izmjenična opterećenja, i zbog toga nije pogodan za ugrađivanje u zastore puteva i posteljice željezničkih pruga, kao napokon i za pločenje ulica. Krhkost se može ocijeniti već po otpornosti uzorka kamena prema udarcima čekića; kukastom lomu je protivan plitko-ljušturast lom u krhkom kamenu, ali je najsigurnija ocjena koju smo stvorili promatrajući lomljenje kamena u preši za pritiskivanje. Nastali potresi pri tome mogu se lako zabilježiti pomoću sprava za registriranje.

Žilavost tijela je sposobnost velike i trajne izmjene njegovog oblika; uporedo sa izmjenom oblika razvija se i veliki otpor protiv takve izmjene.

Za ispitivanje žilavosti predlaže Hertz da na glatku površinu tijela postavimo čeličnu kuglu, i pritiskujemo je dok se pod njome ne prelomi okrugla fina pukotina. U žilavom tijelu ne nastaje takva pukotina već jedna trajna udubina. Krhkost se može ocijeniti i ispitivanjem udarne čvrstoće (str. 86). Voda umanjuje krhkost.

Po Ludwik-u (1929.) uvjetuje visoki otpor klizanju malu sposobnost za promjenu oblika (krhkost); otpor kidanju je razmjerno malen, granica smika velika. Mali otpor klizanju uvjetuje žilavost zbog velike sposobnosti za trajnu izmjenu oblika. Otpor kidanju (kohezija) je tada razmjerno visok, a granica smika se brzo dostigne. S rastenjem brzine izmjene oblika (brzine klizanja po kliznoj plohi) raste po Ludwiku otpor protiv klizanja. S tim ne ide uporedo povećavanje otpora na kidanje. Prema tome postaju materijali krhkiji s povećavanjem brzine izmjene oblika. Na žilavost i krhkost nekog materijala utječu osim toga vrsta naprezanja i vrsta preloma.

Prelamanjem (nastajanjem slobodne površine) atomske veze prekidaju se postepeno ili odjedamput; između obadva granična slučaja ima prelaza (Ludwik 1929.). Trajni prelom uvijek je krhki prelom nezavisno od toga kolika je sposobnost izmjene oblika; atomske veze prekinu se odjedamput.

Po Schlechtwegu (1933.) u valjku pješčara malo prije preloma pritiskivanjem, zamijeni se krhko s plastičnim ponašanjem. To se poznaje po tome što nastaju klizne površine, koje se vide već prostim okom. Pre-

lom koji kasnije nastane je pomični prelom, nije dakle krhki prelom. Nepotrebno je govoriti o krhkim i plastičnim tvarima, već o krhkom i plastičnom području, u kome se tvari upravo nalaze.

Krhak kamen ima malu udarnu čvrstoću (str. 86); žilav ima veliku trajnu čvrstoću. Žilav kamen se u prvom redu upotrebljava za taracanje i za tucanik.

Pješčari su često vrlo žilavi. U međuprostorima mineralnih sastojaka pješčara i kristalastih stijena ublažuje se brzo i nenadano djelovanje udaraca, i tim se povećava žilavost. Ublažavanje se povećava katkada smrzavanjem uslijed razrahlosti, pa izgleda kao da se povećala žilavost kamena. Lagano pritiskivanje omogućuje postajanje kliznih ploha među zrnima pješčara i magmatskih stijena, i time se pospješuje u stanovitoj mjeri prelamanje.

G a b e r (1930.) opisuje spravu za određivanje trajne čvrstoće; ona ima čekiće teške 4, 8 i 12 kg. Mjeru za udarnu čvrstoću predstavlja onaj broj udaraca, ili onaj rad udaranjem, dok ispitivani uzorak ne prsne. Prednosti takve sprave treba da budu: upoznavanje stvarne čvrstoće, velika točnost, automatski rad sprave (brojenje udaraca, samoiskopčavanje kad kocka prsne).

Za ispitivanje uzimamo kocke dužine brida 3 cm. Težina čekića se prilagođuje vrsti kamena. Tako na pr. čekić težak 4 kg obično ne razbije i trajnim udaranjem jedan tvrd kamen. Motor od 1 HP, sa 50 okretaja u minuti, okreće zupčanikom valovitu osovinu sa tri valovita koluta, svaki sa jednim čekićem, koji se mogu zamijeniti.

Dosadašnji rezultati ispitivanja jesu:

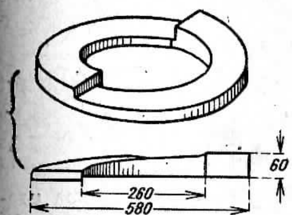
	Težina čekića	Broj udaraca do prskanja ispitivanog uzorka
Porfir iz Dottenheim-a	8 kg	220 do 270
Granit iz Weisenbach-a	8 „	20 do 1700
Bazalt	8 „	do 24800
Pješčar	4 „	8 do 20

21. HABANJE

Smanjivanje mase kamena pri njegovoj upotrebi nazivamo habanjem, i ono ima mnogo zajedničkog sa sposobnosti kamena za obrađivanje. Habanje je zavisno od tvrdoće pretežnih mineralnih sastojaka kamena, njihove količine u odnosu prema drugim sastojcima, žilavosti minerala, čvrstoće vezanja mineralnih zrna i t. d.

Habanje je prema tome svojstvo vrlo zamršeno, i ono se može izraziti čistim poređivanjem samo stanovitih vrsta habanja. Habanje zastora ima veliko ekonomsko značenje.

Pokusi u velikom mjerilu daju praktički upotrebljive rezultate (na pr. na stanicama za ispitivanje, na pokusnim odsjecima puteva). Ispitivanja u zavodima mogu poslužiti samo kao pomoćno sredstvo. Ispitivanja se mogu svrstati u slijedeće skupine:



Sl. 39. Polukružni prstenovi prema Gaber-u i Hoeffgen-u

a) **Postupak brušenjem.** Mokar ili suh kamen brusi se raznim sredstvima (smirak, čelični prah i t. d.). Habanje je posljedica udaranja tvrđeg materijala za brušenje o mineralne sastojke kamena, opetovano bezbroj puta, i iz raznih pravaca. Zbog toga oslabi i veza mineralnih sastojaka u površinskom dijelu pokusnog uzorka toliko, da napokon budu dijelovi minerala izgrebeni, otrgnuti i odbačeni. Sprave za ispitivanje potječu od B a u s c h i n g e r a, D o r r y a (od mnogih napuštene), od danskog zavoda za ispitivanje materijala (Kopenhagen) i t. d.

Po ispitivanjima O. G r a f a, H o e f f g e n a i drugih, upliviju na rezultate brušenja slijedeće okolnosti: veličina pokusnog uzorka, broj uzoraka, koje istodobno ispitujemo, opterećenje kojim se pritište, sredstva za brušenje, brzina i hrapavost ploče za brušenje, količina sredstava za brušenje, neprekidno ili prekidano brušenje, položaj površine uzorka prema smjeru brušenja, vlažnost uzorka i sredstva za brušenje, posebna svojstva

uzorka (na pr. vrsta praha koji nastane brušenjem), oblik nabrušene plohe uzorka, veličina nabrušene plohe, prevlaka od parafina i t. d.

Hoeffgen (1929.) je dobio pri preispitivanju točnosti brušenja, po postupku okretanja, na granitu srednju pogrešku određivanja 0,27 g, ili izvršenu srednju pogrešku 1,8 posto od težine. U poređenju s drugima pokazao se postupak točnim.

U Švedskoj (R. Schlyter, 1927.) se upotrebljava uređaj za brušenje od Dorry-a.

Za ispitivanje kamena za pločenje preporučuju Gaber i Hoeffgen stroj za brušenje i udaranje (ploča za brušenje s dva poluprstena).

Na ploču za brušenje pričvrste se dva polukružna prstena sa zavojnim plohama, i to tako da se niži kraj jednog poluprstena, visina 30 mm, dotiče višeg kraja drugog poluprstena, visina 60 mm (sl. 39.). Pri ispitivanju ploča za brušenje i udaranje kreće se ispod uzoraka, podižući ih pri svakom okretaju dva puta, zajedno s težinom naprave za stezanje osovine i ručnih kotača, tako da uzorci dva puta slobodno padaju za 30 mm na mjestima razlike u visini poluprstenova. Svaki uzorak pri ispitivanju treba da podnese pri padu na ploču udarac od 78 cm/kg (postupak prema uređaju u Karlsruhe); ukupni put brušenja je dugačak 760 m, a broj udaraca za vrijeme ispitivanja 1000 (ukupni rad udaranjem je 78.000 cm/kg).

Ovaj se postupak približuje više zahtjevima kamena za građenje puteva nego obični postupak samog brušenja okretanjem. Bridovi uzorka budu otupljeni. Uzroci pogrešaka su istovrsni kao i pri običnom postupku. Hoeffgen (1929.) je odredio kao srednju pogrešku 5,5 od težine.

b) **Postupak ispitivanja pomoću mlaza od pijeska.** Po ovom postupku izbacuje se na plohu pokusne kocke osušeni pijesak (norm-pijesak, prosijan kroz sito sa 120 četvorinastih otvora) pomoću suhe pare ili zgusnutog zraka pod pritiskom od više atmosfera (najčešće 3 atm). Za mjeru habanja služi gubitak na površini ili težini, sveden na jedinicu površine istrošene plohe.

Djelovanjem pješčanog mlaza nastaju ovdje ondje jasne razlike u habanju površine, i tvrdi sastojci, koji su otporniji, strše kao zaštitni dijelovi povrh mekanih sastojaka. Finozrni

vapnenjaci se slabo habaju, dok se iz drugih vrsta kamena moraju cijela zrna istrgati prije nego popusti veza među njima. Habanje kamena za pločenje, za oblogu i t. d. vrši se na sasvim drukčiji način. U njima se drobe i izbacuju tvrdi mineralni sastojci pod pokretnim teretom, udarcima kotača, konjskih potkova i t. d., i stalno se izlaže habanju nova i nova površina kamena. Ali površina kamena ne će pri takvom habanju nikada biti tako duboko ozlijeđena kao pri pokusu pomoću mlaza pijeska. Štoviše, otkrhnuti i izbijeni djelići minerala upadaju u udubine i zaštićuju svoju okolinu dok ih kiša ne ispere ili vjetar ne raznese.

Ispitivanje pomoću mlaza od pijeska ima izvjesne prednosti (?) prema postupku ispitivanja brušenjem. Tako mlaz od pijeska izbacuje i raspršuje uvijek druga zrna, dok se smirak za brušenje obzirom na tvrdoću mineralnih sastojaka i sam usitnjava i konačno više ne djeluje. Dodavanjem novog smirka umanjuje se u ostalom bitno ovaj nedostatak, ali novo nastali kameni prah opet otežava daljnje brušenje, jer ostaje na površini, koja se brusi. Pri postupku s pijeskom budu otkinute čestice s površine kamena odmah raspršene. Ipak navedeni »nedostaci« postupka brušenjem nisu suviše teški; oni prirodno i pokusno habanje čine samo sličnijim između sebe.

Prema podacima O. Grafa habanje ispitivane plohe pada brzo od sredine prema njezinom rubu, pa je prema tome uvjetovano njezinom veličinom. Povećavanjem pritiska zgusnutog zraka povećava se habanje nesrazmjerno jako (zbog povećane količine pijeska). Završetak cijevi na koju izlazi mlaz pijeska treba biti udaljen 6 cm od površine za ispitivanje. Mjera i oblik cijevi su vrlo važni (Gaber). Habanje raste s količinom raspršenog pijeska, ali samo do određene najviše vrijednosti. Habanje prirodnog kamena pred cijevi je u svim slučajevima manje nego pri postupku brušenjem. Hoeffgen je pokazao da ispitivanje pomoću mlaza s pijeskom ima jednu temeljnu pogrešku, koja nepažnjom može rezultate ispitivanja učiniti posve neuporabivima. Naime toj pogrešci može biti uzrok oblik i veličina cijevi, kroz koju izlazi mlaz pijeska, jer se i ta cijev pod

udarcima zrnaca pijeska troši za vrijeme pokusa. Mogućnost pogreške može se ukloniti, ako se istodobno s pokusnim uzorkom, ili neposredno poslije toga, vrši habanje na jednom uzorku za uspoređivanje, pa se konačno obadvije vrijednosti habanja usporede. Kao uzorak za uspoređivanje može poslužiti jednoliko staklo za zrcala.

c) **Ispitivanje habanja u mlinovima za kamen.** Ovo ispitivanje spada u red ispitivanja po dinamičkom postupku. Tome, već odavno poznatom načinu ispitivanja habanja u mlinovima, poklanja se u novije vrijeme opet više pažnje, uz mnogostruke izmjene (postupak po D e v a l u, — upotrebljavan u Švedskoj, — W a w r z i n i o k, G r e n g g, G a b e r, H o e f f g e n i mnogi drugi).

U najjednostavnijoj izvedbi po ovom postupku ispitivanja, podvrgavamo sabrane uzorke nepravilnog uglatog oblika složenim zahtjevima, koji se teško mogu preispitati, poput onih kakvima je izložen šljunak u gorskim brzicama i bujicama. Ovo ispitivanje mnogo toga otkriva i s obzirom na ponašanje takvog materijala u zastoru ceste. Zbog zamršenih zahtjeva, kojima su izvrgnuti pokusni uzorci, mnogi istraživači otklanjaju mlin za kamen (G r e g e r, 1927., S t i n y, 1929. i dr.). Iznimno mjesto zauzima postupak ispitivanja prema uređaju u Karlsruhe.

Izvori pogreškama mogu biti habanje čeličnih kugala, oblici pokusnih uzoraka, habanjem nastali usitnjeni materijal, nejednaka veličina komadića tucanika (prema H o e f f g e n u za granit mala, neznatna), razna vlažnost tucanika, razna prostorna težina ispitivanih uzoraka i t. d. H o e f f g e n je dobio u ostalom za granit jednu prilično nisku srednju vrijednost odstupanja (3,4% od težine).

Mnogi istraživači vrše pokuse i na kockama. Tako B u r c h a r t z stavlja pet kocaka s dužinom brida 4 cm u mlin s promjerom 187, odnosno 250 mm. Kotrljanjem kocaka poslije 6000 okretaja (50 okretaja u minuti) i rešetanjem na sita od 35,7 i 1 mm promjera okanaca, ustanovi koliki je udio pojedine skupine po veličini zrna.

22. TVRDOĆA

Tvrdoćom se obično smatra otpor protiv paranja (odlamanja pod pritiskom) pojedinih dijelića površine kamena, ili otpor, koji pruža kamen protiv zadiranja u njegove mineralne sastojke i među njih. Tvrdoća zavisi prije svega od čvrstoće vezanja zrna, elastičnosti kamena, tvrdoće njegovih mineralnih sastojaka, svojstva površine, brzine tijela kojim se pokušava parati, vanjskog izgleda, strukture, stupnja vlažnosti i t. d. Jedno i isto tijelo ima razne tvrdoće, zavisno o načinu pokusa. To će vrlo jasno pokazati slijedeća tablica.

Brojevi za poređivanje tvrdoće pojedinih minerala

(Korund = 1000)

		Mohs 1820	Auerbach 1891-1896	Rosiwal 1892	Jaggar 1897
Može se noktom parati	Gips	2	12	0,3	0,04
	Kamena so(halit)	2	20	2,0	—
Može se parati mekanim željeznim predmetom	Kalcit	3	80	5,6	0,26
	Fluorit	4	96	6,4	0,75
Tvrd gotovo kao prozorsko staklo	Apatit	5	197	8,0	1,23
Može se parati samo izvanredno tvrdim nožem	Adular (Glinenac ili feldspat) . .	6	210	59	25
Nikakvim nožem ne može se parati	Kremen ili kvarc	7	268	175	40
	Topaz	8	456	194	152
	Korund	9	1000	1000	1000
	Dijamant . . .	10	2170	140000	—

R o s i w a l je izračunavao t. zv. »tvrdoću brušenja«, koja je zapravo brojka za habanje a ne za tvrdoću (poredi poglavlje 21).

Pregled tvrdoće paranjem najvažnijih minerala za građenje cesta
(Ljestvica tvrdoće po Mohsu)

2 ili nešto više: tinjac ili liskun (muskovit, biotit, klorit i t. d.);
3 . . . .: kalcit;
. . . .: dolomit, serpentin (promjenljiv);
4 . . . .: fluorit, dialag;
5 . . . .: apatit;
. . . .: leucit, nefelin, titanit;
6 . . . .: glinenac ili feldspat (svjež), augit (svjež), amfibol (svjež), omfacit;
. . . .: olivin (promjenljiv), epidot;
7 . . . .: kremen ili kvarc;
. . . .: svjež granat (promjenljiv), turmalin, andaluzit, kordierit.

Tvrdoću kamena i tvrdoću minerala treba pažljivo razlikovati, jer i u kamenu sastavljenom samo od jednog istovrsnog minerala tvrdoće često nisu jednake. Tako kreda i mramor, i ako su sastavljeni od kalcita, imaju znatno različne tvrdoće. U kamenu, obzirom na tvrdoću, igra važnu ulogu osim tvrdoće minerala još i struktura, vanjski izgled (tekstura), a naročito način kako su zrna povezana u kamenu.

U kamenu sastavljenom od više različitih minerala tvrdoća se mijenja mjestimice, zato je nemoguće dati jednoznačne podatke (kao na pr. u zasebnih minerala), a kad bi ih dali mogli bi dovesti do zabune. Za ocjenu tvrdoće kamena služimo se drugim postupkom. Najjednostavnije je ispitivanje pomoću različitih minerala ili metala poznate tvrdoće (vidi gore). Inženjeru se preporuča da postupi po metodi Hirschwalda. Hirschwald ispituje tvrdoću mineralnih sastojaka pomoću čelične igle i lupe. Čeličnom iglom pokušava parati mineral i po širini ogrebotine ustanovljuje približnu tvrdoću minerala. Prema prostornoj raspodjeli i količini nejednako tvrdih minerala moguće je dati približan sud o gornjoj odnosno donjoj granici tvrdoće kamena. U mnogo primjera je važna donja granica tvrdoće kamena, jer tvrđi minerali razmjerno lako ispadaju iz okoline

mekših minerala. Tvrdoća paranjem je posebno važna za ocjenu svježine minerala (kamena).

Paranje (zadiranje pod površinu), koje je ovisno o smjeru u mineralu, dakle to paranje po kome je Mohs postavio svoju skalu tvrdoće, poslužilo je kasnije i drugim istraživačima za usavršavanje metode ispitivanja, kao na pr. Gollneru, Müllneru, Turneru, Martensu i dr. Kao pouzdan može se smatrati Martensov sklerometar (aparat za ispitivanje tvrdoće, koji je opisan u knjizi: Stiny, Technische Gesteinkunde, str. 473.)

Tvrdoću nastoje određivati i utiskivanjem tijela određenog oblika (t. zv. »Stempel«) bez udaranja. Brinell i Benedikt (koji je usavršio postupak) upotrebljavaju čeličnu kuglicu sa promjerom 10 mm (ili 5, 2,5 mm), koju utiskuju pod normiranim pritiskom na poravnatu i uglađenu površinu kamena. Poslije pokusa mjere dubinu i najveći promjer (D) utisnutoga dijela kuglice, i to pod mikroskopom, na 1/1000 mm točno. Mjera za tvrdoću je »broj tvrdoće« (H), koji se izračuna po ovom razlomku:

$$\frac{\text{Pritisak u kg}}{\text{Utisnuta površina u mm}^2}, \text{ ili također } H = \frac{P}{D_t}.$$

Budući da je suh kamen tvrđi od mokroga, potrebno je pri određivanju tvrdoće znati i sadržinu vode.

Sklerometar po Martens-Heynu pokazuje neposredno dubinu do koje je kuglica utisnuta, i po tome podatku može se izračunati tvrdoća.

U plastičnih tijela ne nastane pod kuglicom pukotina, kao u krhkih, već trajna mala udubina, »Delle« (Auerbach), kao kalota kugle, koja se pojačavanjem pritiska sve polaganije povećava tako, da se pritisak na jedinicu površine približuje jednoj nepromjenljivoj graničnoj vrijednosti, koja se tada može uzeti kao mjera tvrdoće.

Po novijim shvatanjima E. Friedricha, apsolutna tvrdoća jednog niza prostih dvojnih spojeva izražava se atomskom vezom u strukturnoj mrežici, prema zakonu o električnoj privlačnosti. Ona je prema iskustvu najveća između svih čvrstoća.

Tvrd i mekan kamen

U praksi se udomaćio običaj, da se nekoji kamen naziva »tvrdim«, a nekoji »mekanim« kamenom. Takav postupak može dovesti do zabune. Pri takvom dijeljenju ne bi došla u obzir upravo tvrdoća kamena, nego njegova podatnost za obrađivanje, odnosno njegovo habanje.

Mekanim kamenom smatramo obično:

Tuf, vapnenjak ili krečnjak, mramor, dolomit, lapor, vapneni pješčar, serpentin, vapneni škriljac, mramorni škriljac, kloritov škriljac, tinjčev škriljac ili mikašist, sa mnogo tinjca ili liskuna, filit, gips, anhidrit i t. d.

Tvrdim kamenom smatramo:

Svaku svježu eruptivnu stijenu, osim toga kremenov škriljac, kremenasti vapnenjak, kvarcitov škriljac, granulit, eklogit, amfibolit, rožnac, nekoje gnajse, kremenove filite sa mnogo kremena i t. d.

Polazeći od naziva »tvrd kamen« i »mekan kamen«, pojavile su se u suvremenoj cestogradnji iscrpne rasprave, pa čak i ogorčene prepirke, među pristalicama upotrebe jedne ili druge vrste kamena. Međutim i mišljenja stručnjaka, koji hladno prosuđuju, ne slažu se uvijek. Evo nekoliko takvih mišljenja.

Po Vespermannu (1934.) u Engleskoj nastoje sve više i više poboljšati katranski makadam i to upotrebom otpornijih vrsta kamena. Tvrd kamen se pokazao boljim na pokusnom putu, samo se još traži njegova bolja prionjivost za katran.

Po Vespermannu (1934.) nije se mogla učiniti nikakva zamjerka katranskom makadamskom zastoru u Esslingenu, uz dnevni promet od 3000 tona od 1925. do 1933. godine; dakako za izradu spomenutog makadama upotrebljen je tucanik od vapnenjaka ili krečnjaka najbolje vrste.

Po Oberbachu, kamen potpuno uložen u bitumen zastora leži mekano i elastično; zbog toga se udarci ublažuju; zastor ceste djeluje naime kao jastuk, koji podnosi veća opterećenja nego suha kamena podloga, u kojoj nema mekanih materijala u međuprostorima komadića tucanika. Habanje se također smanjuje u makadamu s katranom.

Schneider pravo kaže: »Tamo gdje je malo trenje od željeznih kotača može mekan kamen dobro poslužiti; tako u mirnim naseljima i manje prometnim ulicama, u prilazima i na pločnicima za pješake, jer se po njemu bez buke ugodno hoda, i kamen ne postaje gladak; zatim u dvorištu (ali izvan kolnika), u jarku, pokosu, prilazu u školu, po kome rijetko prolaze kola i t. d. Za sve spomenute primjere može se dobro primijeniti jeftin, mekan kamen za pločnik po kome se hoda bez buke. Kad se još prekrije tankom prevlakom katrana ili bitumena, tad se spriječi i njegovo prebrzo habanje.«

Različita su iskustva, stečena upotrebom mekanog kamena u površinskim dijelovima cestovnog zastora. Izvještaji iz Engleske, Francuske, Würtenberga su povoljni, oni naprotiv iz Švicarske, dijelom i iz Nizozemske, nepovoljni. Clement (1933.) dodaje, da povoljan uspjeh u Würtenbergu treba tome pripisati što su tamo upotrebili najbolju vrstu vapnenjaka. U Engleskoj se zalažu u novije vrijeme sve odlučnije za tucanik od tvrdog kamena, a u Francuskoj potvrđuju da se spojni materijal bolje uklješti u kostur što ga sačinjava tucanik od tvrdog kamena.

Knight i Herald (Wegen, 1933., sv. 7.) zaključuju na osnovu vlastitih opsežnih ispitivanja: 1., da sve vrste vapnenjaka u slojevima zastora, a u dodiru sa saobraćajnim sredstvima, dobiju kao mastan opip na površini i 2., da kristalasta struktura umanjuje habanje vapnenjaka, ali ne može spriječiti pojavu nečega kao masnoga na površini.

U cestama kojima površinu obrađujemo treba da sitne kamene frakcije budu od tvrdog kamena, koji nije samo čvrst na pritisak, nego također žilav i po mogućnosti fino šupljikav (Dr. Klein, Asphalt und Teer 1933., sv. 36.). Šupljike upiju suvišak katrana, koji se zagrije na suncu; katranirana površina ima potom manje šupljina, ona je otpornija i teže se »znoji«. Glatki kompaktni komadići ne drže zagrijani katran; on se ne suši, »znoji« se i pomjera, i zbog toga treba teže izvedive popravke.

Fritz Otto (1931.) predlaže, da se tvrdim kamenom smatra onaj kamen, koji ima čvrstoću na pritisak najmanje 2000 kg/cm^2, habanje najviše 0,15 cm^3/cm^2 po postupku na ploči za brušenje, a najviše 0,20 cm^3/cm^2 po postupku mlaza s pijeskom. Sve ostalo svrstava u mekani kamen.

Hasz (1934.) izvješćuje da se andezit pokazao dobrim kamenom pri građenju mađarskih betonskih puteva. Također i pokusni dio puta izgrađen od betona s vapnenjakom, pod saobraćajem 2000 tona dnevno (⅔ sa konjskom spregom i ⅓ automobilskog prometa) pokazao je jednakomjerno, i ako odgovarajuće i veće habanje.

Prepirka, koja se vodila oko upotrebe tvrdog ili mekanog kamena je u stvari nepotrebna, jer ne može donijeti općenito i za sve jednako vrijedno rješenje. Svaki je slučaj pojedinačan i

drukčiji; svaki kamen ima stanovite prednosti, koje se pod određenim uvjetima dobro očituju te omogućuju, upravo zahtjevaju njegovu primjenu. Treba samo izbjegavati svaku neumjesnu štednju, ili bojazan da ćemo izgubiti vrijeme ako ispitujemo svaki pojedini slučaj. Onda nam se ne će dogoditi da kamen ugradimo tamo gdje ne pristaje prema svojim tehničkim svojstvima. U tom smislu ne može se dati prednost isključivo tvrdom kamenu, ili obratno, isključivo mekanom kamenu. U koliko bi se danas graditelj puteva morao uglavnom odlučiti za tucanik od tvrdog kamena, jer se i unatoč većoj cijeni bolje isplaćuje, ekonomičniji je nego tucanik od mekanog kamena. Bit će u građevinarstvu ipak i uvijek još mnogo slučajeva, u kojima će se uz tvrdi tucanik ili mjesto njega iskoristiti vapnenjak ili krečnjak i t. d., prije svega onaj kamen, koji je za određenu svrhu najpogodniji.

Upotreba svakog građevnog materijala na pravom mjestu, od čega smo mi danas još jako daleko, mora dati i dati će odličnom tvrdom kamenu ono mjesto, koje mu nesumnjivo pripada prema njegovim tehničkim svojstvima. Ali će ostati u korisnoj upotrebi i dobre vrste mekanog kamena, naročito na onim područjima na kojima je njihova primjena moguća i gospodarski opravdana, zbog jeftinije nabave i povoljnih tehničkih svojstava, kao i zbog geografskog položaja nalazišta.

23. OMEKŠAVANJE KAMENA

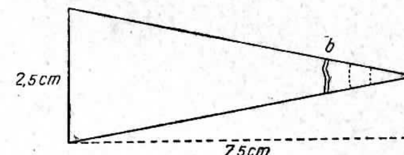
Vlažan kamen je samo u iznimnom slučaju čvršći od suhog kamena. Po pravilu kamen postaje »mekši« primanjem vlage. Kao mjera za omekšavanje služi brojka otpornosti omekšavanja (ili kraće brojka omekšavanja; e); ona se izražava omjerom čvrstoće u vodom zasićenom stanju (F_w) i u suhom stanju (F_t), dakle:

$$e = \frac{F_w}{F_t}.$$

Budući da je teže odrediti čvrstoću na vlak nego na pritisak, to se po pravilu određuje brojka omekšavanja čvrstoće na pritisak.

Brojka omekšavanja upozoruje nas ne samo na stanje kamena pod vodom, nego je ona također i mjera za njegovu postojanost prema atmosferilijama; postojanost naime raste, pod inače istim uvjetima, sa povećanjem brojke omekšavanja. Kamen koji jako omekšava u vodi (mala brojka omekšavanja!) je posve neotporan prema smrzavanju, i zbog toga je neprikladan također i za građenje cesta. Graditelj pločnika naziva takav kamen »vodopijom«. Prema W. Zelteru nalazi se takav kamen često u pločnicima od granita. Kao uzrok tome Steuer navodi šupljikavost (sitne, ali brojne šupljinice), a Zelter (1927.) fine pukotinice, koje su nastale djelovanjem gorskog pritiska.

Zelter (1927.) je našao, da takav kamen (»vodopija«) upija 2½ puta više vode od zdravog kamena iz istog kamenoloma; taj kamen »vodopija« zadržava primljenu vodu dugo i time povećava opasnost smrzavanja. U feldspatu ili glinencu i u kremenu zapažaju se pod mikroskopom pukotinice, koje prolaze kroz cijelo mineralno zrno; kremen potamnjuje valovito. Često sadržavaju takve stijene više glinenaca ili feldspata nego svježi granit; tinjci ili liskuni su često zahvaćeni metamorfozom i prelaze u klorite, čiji su listići katkad savijeni.



Sl. 40. Probni uzorak u obliku klina Prema J. Hirschwald-u

Da se u zastoru ceste izbjegne šteti od kamena »vodopije«, treba preuzimati kamenu kocku u samom kamenolomu. Sumnjivi uzorci mogu se još na vrijeme ispitati koliko upijaju vodu; to upijanje prema Zelteru (1927.), ne smije prijeći 0,75% (najviše 1%). Rastopina kalijevog permanganata ne smije nakon pet dana zaći u kamen dublje od 1 do 2 mm. Svjež kamen prepoznajemo po glatkom i sjajnom izgledu glinenaca ili feldspata i tinjaca ili liskuna.

Za suvremeno građenje cesta traži se kamen po mogućnosti jako otporan protiv omekšavanja (**e** manje od 1,0); traže se za **e** vrijednosti veće od 0,90; kamen sa vrijednosti

e = 0,85 do 0,90 upotrebljava se samo iznimno; takav kamen nije podesan ni za oblogu, jer su visoke vrijednosti za **e** dobar znak i za provođenje vlage (kapilarno dizanje vode iz tla).

Samo omekšavanje zavisi većim dijelom od mineralnog sastava kamena i njegove šupljikavosti. U vodi omekšavaju lako sve vrste glinovitog kamenja, kao na pr. lapori, laporoviti vapnenjaci, vapnoviti lapori, škriljaste gline, glineni škriljci, pješčari sa laporovitim ili glinovitim vezivom; teško omekšavaju vrste bogate kremenom, primjerice mnoge kristalaste stijene, jako okremenjene sedimentne stijene i t. d.

J. Hirschwald je djelovanje vode na kamen procjenjivao ispitivanjem klinastih komadića. Dva do tri komadića je stavio u vodu a isto toliki broj izložio djelovanju zraka. Poslije četiri dana lomio je prstima oštre dijelove klinova koliko je bilo moguće (na pr. kod suhih do b, a kod odležanih u vodi do b_1, sl. 40.). Odnos b/b_1 daje mjerilo za stupanj omekšavanja. Pokusi bojenjem dobro dopunjuju ispitivanja upijanja vode, i otkrivaju fine puteve, po kojima voda zalazi u svijetle i bijele vrste kamenja (manje pogodno ispitivanje za tamno i crno bojeno kamenje, poredi str. 56).

E. KAKAV MORA BITI KAMEN ZA ODREĐENE SVRHE

G. Berg (1931.) s pravom naglašava, da ni jedna vrst kamena nije po sebi ni dobra ni loša, nego samo uporabiva ili neuporabiva za stanovitu svrhu. Takvo mišljenje vrijedi dapače i za razmjerno usko područje upotrebe kamena za građenje cesta. Kamen, koji je za podlogu još vrlo uporabiv, može biti za vanjski dio zastora puta (dio koji se haba) potpuno neuporabiv. Ali i taj dio, zbog prirode saobraćaja, stavlja na kameni kostur često različite zahtjeve. Zato u uvjetima za građenje nije razborito ograničiti se samo na izvjesne vrste kamena, a druge opet sasvim isključiti. Osim toga ni samo ime kamena, kao na pr. granit, bazalt i t. d. nije dovoljno da se ocijeni sposobnost kamena za suvremeno građenje puteva. Obzirom na vrstu primjene, samo i jedino tehnička svojstva smatramo odlučnim faktorom pri izboru kamena. Uprave za građenje cesta griješe često u tome smislu, jer kancelarijski prosuđuju, propisuju i traže kamen za građenje.

a) Kamen pločenik i ploče od kamena

Kamen pločenik mora biti čvrst na pritisak i udarac, t. j. mora izdržati jake iznenadne udarce, primjerice udarce konjskih potkova, kao i pritiske kotača od 700 do 800 kg/cm². Kamen pločenik mora imati čvrstoću na pritisak najmanje 1500 kg/cm². Za tu svrhu najbolji su: granit, bazalt, melafir, diorit, porfir, dijabaz, sijenit, porfirit, andezit, tvrdi sivac i t. d. Ako kamen ima veliku čvrstoću, ne smije pri tom biti krhak. Kamen

mora biti bez pukotina, postojan prema promjenama vremena i mora održati svoju mjeru. Siječe se često jednostavno kalanjem, inače se obrađuje dlijetom, odnosno površine se poravnavaju, »štokuju«. Vanjske površine moraju biti u svakom slučaju hrapave, i habanjem takve ostati.

Uvjete za kamen pločenik određuju austrijske norme Önorm B 3108.

Prema veličini mineralnog zrna, koje se vidi prostim okom, postavlja Zelter (1927.) slijedeće uvjete:

Glinenac ili feldspat	1,35—0,91 mm	krupni materijal	Razdioba u području »sitnozrnih granita« (nazivi po Stiny-u)
	0,90—0,56 „	srednji materijal	
	0,55—0,25 „	sitni materijal	
Kremen ili kvarc	1,05—0,76 „	krupni materijal	
	0,75—0,51 „	srednji materijal	
	0,50—0,25 „	sitni materijal	
Bojeni sastojci	0,80—0,61 „	krupni materijal	
	0,60—0,41 „	srednji materijal	
	0,40—0,24 „	sitni materijal	

Krupni materijal je prikladan za veće, srednji za srednje, a sitni za slabije uspone i ravne puteve.

Kocke za popločavanje kao mozaik moraju imati prema Karlu Valini: dužinu brida 4—6 cm, i četvorinast, po mogućnosti četverokutast oblik; kao vrsta kamena: sitnozrn tvrd granit ili bazalt; donja i gornja strana kocke treba da budu ravne i približno paralelne; površina donje strane kocke ne smije biti manja od dvije trećine površine gornje strane, i napokon visina kocke ne manja od 4, a veća od 6 cm.

Na kockama za pločnik bilo bi važno ispitivanje udarne čvrstoće. Mekan kamen (jurski vapnenjak, ljušturni vapnenjak, šareni pješčar) treba isključiti. Kamen za veliku i malu kocku mora biti izvanredno dobar, potpuno svjež i zdrav, postojan

prema vremenskim promjenama, žilav i ujednačenog zrna (ne smije biti nejednako zrnat); zbog izrade tijela pravilnog oblika, mora imati dobar prelom, i laku obradu, jer kamen u pravilnim oblicima (kockama) leži bolje u kolniku i pojeftinjuje njegovu izradu. Bolje ćemo podatke o njegovom habanju dobiti ako upotrebimo metodu brušenja nego mlaza sa pijeskom. Krhak kamen nije prikladan za tarac (na pr. bazalt sa mnogo staklaste mase, ili sa mnogo olivina).

Površina kocke u dodiru sa saobraćajnim sredstvima ne smije se habanjem glačati (finozrni bazalti!); ona mora ostati stalno hrapava. Površina se mora habati jednako u sredini kao i na bridoivma (da ne nastaju t. zv. »mačje glave«, sl. 41.), da pločnik ne dobije neravnu površinu. »Mačje glave«, odnosno zaobljene površine, nastaju češće u krupnozrnom nego u sitnozrnom kamenu; na njihovo postajanje utječe i slog, struktura i mineralni sastav kamena. Takav kamen treba da upija što manje vode, i t. zv. »vodopije«, t. j. komadi, koji upijaju mnogo vode, postaju začetnikom razaranja kolnika (poredi str. 101).

Pločnik od kamena haba se u toliko jednoličnije i ostaje u toliko ravniji u koliko je površina kocke manja; ovo nagoni na sve češću primjenu male kamene kocke.

Primjena male kocke na usponima zavisi od veličine zrna u kamenu. Bazalt koji je sklon glačanju upotrebljava se za uspone najviše 3—4%, a granit sa srednjom veličinom zrna na usponima još do 6 ili 8%. Za strmije puteve može se upotrebiti još hrapaviji kamen.



Sl. 41. »Mačje glave« nastale u pločniku; one ga čine neravnim i kratkotrajnim.

Vanjski izgled kamena treba da je po mogućnosti nepravilan, ali aplitske žile ne smetaju (kao na pr. u bečkim pločnicima). Slojevit i fluidalan vanjski izgled djeluju nepovoljno; škriljav loše.

Pri izradi kamena za pločnik treba paziti da gornja ploha bude slojna ili njoj paralelna ploha (str. 45), jer kamen okomito na slojnu plohu ima najveću čvrstoću na pritisak.

U kamenu nije poželjna veća količina tinjca ili liskuna. U Americi odbacuju i kamene kocke s mnogo glinenca ili feldspata.

Po Zelteru (1927.) ispitivani i uporabivi graniti sastojali su od:

	najviše	najmanje	srednje
	u %		
Glinenca ili feldspata	70,95	44,95	60,89
Kremena ili kvarca	42,50	21,54	31,69
Tamnih (bojenih sastojaka) . .	34,40	0,15	7,03
Sporednih sastojaka	1,60	0,00	0,39

Walter Klein (1932.) svrstava bazalte, koje je sam ispitivao, u četiri skupine. Osnova za klasifikaciju bila su ispitivanja bazalta u mikroskopskim preparatima.

Bazalti I. skupine (s finozrnom osnovnom masom, 0,01 do 0,02 mm) nisu pogodni za građenje puteva, jer se brzo uglačaju; ako je osim toga osnovna masa i staklasta, tad se lome ljušturasto, krhki su i lako se lome u iverje.

Bazalti II. skupine (s finozrnom osnovnom masom, 0,02 do 0,04 mm) isto se tako brzo uglačaju; nekoje odlike ipak izvanredno odolijevaju habanju, posebno ako u njima ima utrusaka (fenokristala) oko 20 do 23%.

Bazalti III. skupine (sa zrnom srednje veličine, od 0,05 do 0,25 mm) ostaju hrapavi i izvrsno se održavaju u zastoru puta, te zato pripadaju uopće među najuporabivije bazalte. Velike kocke od takvog bazalta mogu izdržati u pločniku 40 godina a male

gotovo neograničeno vrijeme. Kocke sa srednjom veličinom zrna u osnovnoj masi ne postaju klizave. Da se ove vrste kamena dobro održe ne smiju imati »Sunčanih pjega«, mineralnih uklopaka velikih dimenzija (ispadaju!), staklaste ili pjegave osnovne mase (školjkast lom, otkidanje bridova) ili napokon vrlo velike količine olivina (osipa se!).

Bazalti IV. skupine, krupnozrni bazalti (zrna u osnovnoj masi od 0,2 do 0,8 mm) daju u nekim svojim podvrstama također još dobar kamen za tarac. Zbog hrapavosti, koja se na njima dugo zadrži, dobri su za uspon, ali su ipak podložniji habanju nego oni u drugoj i trećoj skupini. Ako su glinenci u njima pločasti tad nastaje ovdje ondje prelamanje po njihovim plohama kalavosti; ako su pak štapićasti (dugački glinenci), tad se komadi zaoble na bridovima.

Tarac od krupnih valutica (Deidesheimer), veličine 9 do 13 cm, nalikuje po svojoj izradi Beckovom taracu. Ovaj opet predstavlja grubu vrstu sasvim nepravilnih komada sitnog kamena za popločavanje (Schneider 1934.), veličine komadića 7—11 cm, položenih u posteljicu od kamene sitneži. Beckov pločnik je prikladniji za sporedne puteve. Za izradu takvog pločnika može se upotrijebiti otpadni materijal u kamenolomu, koji inače nije ni za kakvu upotrebu. U pločniku od malih nepravilnih komadića nemaju oni ni kvadratičan ni pravokutan oblik. Komadići imaju promjer 8 do 10 cm i visinu također 8 do 10 cm. Bolje iskorišćivanje nekog nalazišta kamena može se izvršiti izradom pločnika od višekutnih komada, upravo tako kao i izradom krupnog tucanika i Beckovog pločnika. To je ekonomski osobito važno za kamen, koji se ne da pravilno sjeći. Sve pogreške u putevima s takvim pločnikom treba, gdje je god moguće, popraviti katranisanjem ili dodavanjem bitumena.

Trajnost malog taraca i njegova lokalna vrijednost mogu se prikazati slijedećim podacima.

	Trajanje u godinama		
	pod velikim teškim saobraćajem	pod srednjim saobraćajem	pod malim saobraćajem
Granitni tarac (prema **G. Faver-u** 1933)	39, 44, 48	45, 46, 48	—
Tvrdi bazalt na posteljici od pijeska (po **Faver-u**)	43, 45, 48	43, 45, 48	52
Tvrdi bazalt na betonu ili na podlozi od lomljenog kamena (po **Faver-u**)	41	—	—
Anamesit iz kamenoloma kod Hanau (po **Faver-u**)	26	30	43
Granit od Mauthausen-a (po **Voit-u**)	19,6	18,3	19

N a n d e l s t e d t iznosi slijedeće o ponašanju nekojih vrsta kamena u sitnom taracu:

Granit. Finozrni dijelovi u krupnije ili srednje zrnatom granitu habaju se sporije od svoje okoline. Dijelovi koji upijaju mnogo vode (»vodopije«) brzo podliježu trošenju. Granit, koji je bio izvrgnut djelovanju gorskog pritiska, mrvi se. Granit sa rđasto-smeđim rubovima je u rijetkim slučajevima dobar. Općenito se može smatrati dobrim finozrni i srednjezrni granit; krupnozrni granit se loše cijepa i zbog toga se teško ulaže u pločnik.

Bazalt. Krupnozrni bazalt zadržava hrapavu površinu. Svaki se bazalt ne siječe jednako dobro. Treba paziti na t. zv. »Sunčane pjege« u bazaltu.

Sivac (grauvaka). Sivac ili grauvaka se obrađuje rukom i zato se bolje ulaže u tarac. Tanki proslojci mineralnih supstanca, koje upijaju vodu, umanjuju otpornost ovoga kamena prema smrzavanju; zbog toga se takvi komadi sivca ne ugrađuju u pločnik.

Flišni pješčar sa manje ili više kremenog veziva iz Apenina, koji je ugrađen u Firenci, pokazao se vrlo dobro (S t i n y, 1930.); kako mi je usmeno saopćio prof. M a d d a l e n a nazivaju ga »pietra forte«, a postao je u doba krede. »Macigno« (M a d d a l e n a 1932.) se pokazao neuporabivim za popločavanje, jer je znatno neotporniji prema pritisku i prema djelovanju atmosferilija.

Važni su također i podaci američkih inženjera o njihovim iskustvima s taracom. Godine 1901. je popločavan Main Street u Worcesteru (Mass) s krupno lomljenim komadima granita, i habanje je bilo do godine 1915. neznatno. Pri prelaganju pločnika moglo se opet upotrebiti dvije trećine granitnih komada.



Sl. 42. Mramor jednakog sastava haba se također jednakomjerno. Tamni dijelovi međutim habaju se nejednakomjerno; oni sastoje od zelenog škriljca, u kome su klorit, koji se lako haba, i amfibol sa epidotom, koji se teško habaju, raspoređeni nejednakomjerno.

Na kraju godine 1913. bilo je u Filadelfiji 348 milja granitnog taraca (A d l e r, 1924), od kojeg je ne manje nego 325 milja ležalo na krupnom pijesku debelom nekoliko coli, nazvanom »podloga od šljunka«. Budući je najveći dio granitnog taraca bio 30 ili još više godina star, trebalo ga

je u godinama od 1912. do 1924. popravljati. Po novim propisima morale su kocke biti visoke 5 coli sa širinom i dužinom 4 × 6 coli. Razmak među kockama morao je ostati uži od ½ cola. Stare kocke su bile veće i različitog opsega pa su prerađivane u nove. Ugrađene su bile slijedeće vrste kamena: svijetli granit iz New Englanda (sitno- do vrlo krupno zrnatog), bazalt i srodne stijene iz područja Pennsylvania i New Jersey, nekoje vrste gnajsa od Maylanda i iz Pennsylvanije, i napokon tu i tamo pješčar s raznih nalazišta. Spomenute različne vrste kamena održale su se različno.

Krupno zrnati graniti bili su najviše i najrazličitije habani saobraćajem, dok su sitnozrni graniti i sitnozrne efuzivne stijene habane manje i kao kocke zadržale bolje svoje kvadratične prereze; zbog toga ih je bilo potrebno manje prerađivati, one su se slagale bolje i davale su pločniku ljepši izgled. Sitnozrn i srednjeg zrna kamen daje cijepanjem ravnije površine i na gornjoj i na postranim plohama. Krupnozrni graniti imaju gotovo stalno udubine i izbočine (camel backs) od ¼ do ¾ cola. Kocke od gnajsa mogli su prerađivati samo spretniji klesari. Pješčari su se pokazali različno; neki su lako primali drugi oblik, a neki su pucali po slojnim površinama.

Iskustva stečena popravljanjem puteva pokazuju, da na habanje upliva jače visina kocaka, i njihova gornja širina, nego li međušupljine (fuge), koje nastaju udaranjem. Nižim kockama je potrebna deblja podloga nego li višim; nabijanjem niži se komadi bolje stisnu jedan pored drugoga nego li viši i zbog toga se njihova podloga može više stisnuti. Da se izbjegne nejednak izgled takvog pločnika nabija radnik visoke komade jače, a niske slabije; od saobraćaja bi nastala brzo neravna površina, koja se jače haba nego kad je ravna. Ponovo se moglo preraditi i upotrebiti prosječno tek 50—60% starih komada. Samo u iznimnim primjerima mogla se novo prerađenim komadima popločati jednaka ili nešto veća površina. Za podlogu se upotrebljava u zadnje vrijeme najčešće cement od pijeska.

Ploče od kamena treba da se habaju jednolično, da se sa površine ne otkidaju ljuskasto (sl. 42.), i da ne nastaju na njihovoj površini udubine. Najštetnijima treba smatrati glinovite uklopke, ali primjetno smeta i manja nejednakost u mineralnom sastavu kamena. Untersberger-mramor je vrlo dobar za ploče, kao i takvi finozrni bijeli mramori. »Kehlheimer« ploče nisu tako dobre, premda izdržavaju dobro pješački saobraćaj već 80 do 120 godina.

Pregled svojstava dobrog kamena za kolnike

Pločnik	Tucanik
Kamen treba da se lako obrađuje (da je podatan sječenju) Da je postojan prema djelovanju atmosferilija Da je čvrst prema udarcu na brid ili ivicu Da ima trajnu čvrstoću na udarac Da ima malo habanje Da ima veliku prostornu težinu Da upija malo vode Da se malo i jednolično haba i da ima hrapavu površinu	Da je postojan prema djelovanju atmosferilija Da je čvrst prema udarcu na brid ili ivicu Da ima trajnu čvrstoću na udarac Da ima malo habanje Da se teško mrvi Da ima veliku prostornu težinu Da ima dobru prionjivost Da upija malo vode Da ima odgovarajuću veličinu i oblik zrna

Prema tome je potrebno provesti slijedeća ispitivanja:

na kamenu za pločenje	na kamenu za tucanik
Određivanje prostorne težine	Određivanje prostorne težine
Određivanje upijanja vode	Određivanje upijanja vode
Određivanje habanja po postupku mlaza sa pijeskom i na ploči za brušenje	Određivanje habanja na ploči za brušenje, zatim po volji, ali svakako u mlinu po postupku u Karlsruhe
Određivanje otpornosti prema atmosferilijama (otpornost na smrzavanju)	Određivanje otpornosti prema atmosferilijama (otpornost na smrzavanju)
Određivanje otpornosti prema udarcu	Određivanje otpornosti prema udarcu
Mikroskopsko istraživanje	Mikroskopsko istraživanje
Određivanje čvrstoće na pritisak (samo kod još slabo poznatog nalazišta, ili u iznimnom slučaju itd.)	Određivanje čvrstoće na pritisak (kao lijevo) Određivanje veličine zrna Određivanje oblika zrna
Ispitivanje svojstava površine poslije habanja	Upoznavanje svojstava površine zrna Određivanje prionljivosti (za katranski makadam i slične zastore kolnika) Određivanje otpornosti prema toplini

Pregled i ispitivanja kamena u kamenolomu

Količina materijala za ispitivanje (pločnik):	Količina materijala za ispitivanje (tucanik):
10 do 12 velikih ili 20 do 30 malih kocaka za tarac	približno 50 kg krupnog tucanika i osim toga 3 grubo otesana komada veličine lomljenog kamena

b) Osnovica ceste (podloga od kamena)

Za podlogu ceste nije potreban kamen sa prvorazrednim svojstvima; štoviše možemo do izvjesne mjere uzeti i tehnički manje vrijedan kamen. Na austrijskim putevima upotrijebljeni su dapače uspješno i bazaltski tufovi sa čvrstoćom na pritisak samo 250 do 300 kg. Za tu svrhu nije uporabiv kamen poglavito sa glinovitim primjesama (lapor, laporovit pješčar), kao i druge vrste kamena, koje upijaju ili propuštaju vodu.

c) Usitnjen kamen, pijesak i šljunak kao dodatni materijali

Dodatni materijali za beton (pijesci) treba da imaju po mogućnosti što manji sveukupni prostor među zrnima (štednja na cementu i bitumenu, veća čvrstoća). Pogodne smjese dobijemo prema rezultatima prosijavanja po izvršenom nizu ispitivanja stresanjem i stiskivanjem, zatim određivanjem volumena šupljina, prema str. 41, (često opetovanim pokusima na raznim smjesama!). U tome su pogledu značajni radovi Abrama i Sterna, na koje ovdje upozoravamo.

Materijal od koga se priređuje beton mora biti čist (od kamene prašine, ilovače; kad je potrebno, uređaj za pranje!). Željezni hidroksid, koji je u pijesku treba također izbjegavati, a prepoznajemo ga po njegovoj izrazito smeđoj ili žutoj boji. U

mnogo slučajeva mora se preporučiti ispitivanje da li ima sumporaste i sumporne kiseline (naročito u materijalu za armirani beton). Štetni su zatim gips, anhidrit, humusne materije, pepeo, organski ostaci i t. d. Čvrstoću betona umanjuje kamen sa mnogo tinjca ili liskuna (oduzimanje vode) i t. d. Tinjac se može do izvjesne mjere odstraniti rešetanjem na vjetru (previjavanjem).

Usitnjenim materijalima ispunjavamo prazne prostore, koji zaostanu još i poslije najboljeg prostornog rasporeda zrna; oni vežu na svojoj velikoj površini znatne količine veziva. Kao usitnjeni materijal upotrebljavamo samljeveni vapnenjak ili krečnjak, fini azbest (mikroazbest), milovku ili talk i dr.

Pijesak ne smije imati gline (kremeni pijesak, stari pijesci), a tinjca ili liskuna vrlo malo (uporedi str. 50). Čistoću pijeska upoznamo lako kad ga zagrabimo šakom, saspemo u čašu vode, dobro protresemo i promatramo taloženje. Točnije podatke dobijemo muljenjem (str. 24). Prevlaka od željeznog hidroksida pojačava na zrnu kremena prionjivost katrana i drugih tvari.

U mnoge svrhe je potreban oštrobridan pijesak, za čije ispitivanje Oberbach (1929.) predlaže postupak brušenjem. Na otpornost bridova prema brušenju naravno jako će utjecati krhkost, kao i kut, koji među sobom zatvaraju plohe na zrnu pijeska (zrna sa oštrim ili tupim kutom, odnosno bridom).

Kamena sitnež, koja se dodaje površinskom sloju mora imati približno jednake dimenzije (najbolje kockasta, dvostruko lomljena izabrana kamena sitnež). I šljunak treba da bude hrapav, čist, oštrobridan i jednake veličine. Duguljaste i plosnate krhotine ne sastavljaju se čvrsto među sobom, pa ih saobraćaj otkida, zbog čega nastaju labava mjesta u kolniku, koja se doskora pretvaraju u rupe. Za ustanovljenje habanja i čvrstoće protiv udarca možemo između ostalih, i s izvjesnim ograničenjem, upotrijebiti mlaz s pijeskom, kao i mlin po postupku u Karlsruhe.

Austrijske oznake za dodatne materijale
(Njemačke oznake vidi str. 27).

	Oznaka	Veličina zrna
Pijesak za ribanje	1. Pijesak za fino ribanje, smjesa 2. Pijesak za grubo ribanje	do 0,5 mm do 2,0 mm
Materijal za zidanje i žbuku	3. Pijesak za fini mort 4. Mort od sitnog grusa 5. Mort od krupnog grusa	do 5.0 mm do 8,0 mm do 12,0 mm
Materijal za beton	6. Fina kamena sitnež za betonske ploče 7. Krupna kamena sitnež za betonske ploče 8. Tucanik za beton 9. Krupni tucanik za beton	do 18,0 mm do 25,0 mm do 65,0 mm do 120,0 mm

d) Katranisane ceste i srodni zastori kolnika

Kamen u kosturu katranisane makadamske ceste mora biti isproban i na njegovu otpornost prema toplini (str. 65).

U USA zahtijevaju da kamena sitnež za površinu zastora kolnika bude čista, tvrda i otporna, da bude bez prašine ili drugih štetnih materija, i da ne sadržava više od 5% tankih produljenih komadića. Habanje takvog materijala mora biti neznatno (ispod 6%), a žilavost velika. Kamen, koji daje mnogo prašine nije pogodan, jer se prašina skuplja u grudice, koje čine na prevlaci masna i suha mjesta.

Prema Kosetscheku (1932.) u Austriji upotrebljavaju za građenje asfaltnih i katranisanih puteva najviše krečnjak ili vapnenjak, a u površinskom dijelu zastora bazalt, porfirit i dijabaz. Granulit i granit su još malo u upotrebi. Na tršćanskoj državnoj cesti nisu se do sada pokazali lošima razni dobri vapnenjaci, kao na pr. mezozojski vapnenjaci i dolomiti iz Altenburga (Njemačka).

Vespermann (1926.) drži mekani kamen naročito pogodnim zbog toga, što dobro upija katran i za njega prianja. Preduslov za upotrebu mekanog kamena je ipak njegova otpornost prema toplini rastaljenog bituminoznog veziva. Sivac (grauvaka) se nije pokazao uporabivim. Mekani kamen ne odgovara velikom i teškom saobraćaju; ovdje se mora upotrijebiti samo tvrd kamen, i to vrste, koje imaju na prelomu hrapavu površinu.

Na pokusnim putevima kod Londona pokazalo se, da se primjerice granit haba neuporedivo laganije nego mekaniji pješčar ili vapnenjak. Ima opet granita, koji nisu dobri. Katran se ohlađivanjem otkida s površine kamena (granit s glatkom površinom na prelomu); druge vrste kamena postaju lomljive zbog zagrijavanja pri izradi zastora puta, i tada se raspadaju pod teretom saobraćaja.

Prema Vespermannu (1926.) jednoličnost kamenog materijala jako je važna za držanje i habanje zastora; kameni materijal raznog sastava raznoliko se haba, i u smjesi slabije otporan materijal uzrokuje nastajanje neravnih površina. Na njima se kasnije udaranjem stvaraju rupe, i konačno ozbiljne štete na zastoru puta. Za zastore kolnika svih vrsta treba upotrijebiti kamen posve jednakih svojstava.

Kako je Vespermann (1926.) već naglasio u katranisanom makadanskom putu jako je važan oblik čestica kamena. Oštrobridni tucanik izgrađuje čvršći kostur nego zaobljeni šljunak. Duguljasti i plosnati komadići ne sastavljaju se čvrsto; ako su položeni preko šupljina mogu se pod pritiskom prelomiti; ako su tijesno složeni može ih saobraćaj dignuti i izbaciti. Kockasti komadići se među sobom tako dobro povežu, da se pod uplivom saobraćajnih sredstava ne mogu ni pomaknuti; to je razlog, da se komadići među sobom ne mrve. Zbog toga treba upotrijebiti tucanik što pravilnijeg oblika.

Pri Aeberli-postupku upotrebljavan je uspješno u Bavarskoj i zaobljeni vapneni šljunak.

DIN 1995 (izdanje 1929. god.) sadržava propise za ispitivanje asfalta i katrana, kao i masa, koje sadržavaju asfalt i katran,

u koliko se primjenjuju za građenje puteva, i u dubokim i visokim građevinama.

Savez austrijskih društava za građenje cesta preporuča slijedeći kameni građevni materijal:

Sitni tucanik	25	do	35	mm	K 35
Krupnu kamenu sitnež . .	18	„	25	„	K 25
Finu kamenu sitnež . . .	12	„	18	„	K 18
Krupni grus	8	„	12	„	K 12
Fini grus	5	„	8	„	K 8
Krupni pijesak	2	„	5	„	K 5
Srednji pijesak	0,5	„	2	„	K 2
Sitni pijesak	0,2	„	0,5	„	K 0,5
Prašinu	0,086	„	0,2	„	K 0,2
Kameno brašno	0,01	„	0,086	„	K 0,05, K 0,086

Minerali kao građevni materijali moraju biti čisti, naročito bez primjesa glinovitih materija. Lomljeni komadi moraju imati gusto zbijena zrna i moraju biti oštrobridni.

e) Betonske ceste

Sastav smjesa od zrna razne veličine, u dodatnim materijalima, mora biti takav, da među zrnima ostaje što manje šupljina. G r ü n je izradio postupak za postizanje toga cilja. Uporedi među ostalima i radove S t e r n a i O. G r a f a.

Austrijski »Merkblatt für Bau und Instandhaltung von Betonstrassen« propisuje »čistoću« dodatnih materijala u smislu Önorm B 3109; tako cjelokupna količina sulfata i sulfida (preračunata na SO_3) ne smije prijeći 0,3% težine. Kamen i šlaka u betonu zastora moraju imati čvrstoću na pritisak najmanje 1800 kg, i habanje u mlinu (bubnju) najviše 12%; prostorna težina ne smije biti manja od 2,5; u svakom drugom pogledu mora kamen odgovarati također propisima Önorm B 3109. Smjesa mora biti prema svrsi sastavljena od zrna različite veličine (po prilici KP 0/5, KP 5/12, K/P 12/25).

U građenju na dva sloja prikladni su za donji beton okrugli i uglati komadi, koji odgovaraju zahtjevima Önorm B 3109. Zrno treba da bude P 0/50, ili smjesa raznih zrna (po prilici P 0/5, P 5/12, P 12/25, P 25/50).

Savez austrijskih društava za građenje cesta preporuča za donji beton smjese okruglog i tucanog šljunka i pijeska, a za gornji tvrd kamen, ili prikladnu šlaku iz visoke peći (za laki promet i za pješačke puteve i drugi čvrsti kamen, zatim prirodan i lomljen pjeskoviti šljunak) i to:

Krupnu kamenu sitnež . .	18	do	25	mm	K 25
finu kamenu sitnež	12	„	18	„	K 18
krupni grus	8	„	12	„	K 12
fini grus	5	„	8	„	K 8

i kremeni pijesak (iznimno drobljen pijesak od tvrdog kamena), ili pijesak od šlake iz visoke peći do 5 mm, K 5. Mineralni građevni materijali moraju biti čisti, gusti i bez primjesa gline.

Za njemačke prilike dali su G. W i e l a n d i K. S t ö c k e podatke o smjesama zrna, koje su za upotrebu.

J. L. B e c k e t (1934.) preporuča za betonske ceste granit i »Whinstone«. U Mađarskoj upotrebljavaju najviše bazalt (R = 2,54, hrapav prelom, kockast oblik zrna, velika otpornost na habanje), zatim andezit i dr. Beton s vapnenjakom (prema H a s z u, 1934.) ne zaostaje po čvrstoći iza betona s bazaltom ili andezitom, ali se od njih više haba. Zato će vapnenjak doći u obzir samo tada, kada je tvrdi kamen skuplji.

Betonski zastor kolnika je izvrgnut poprečnom savijanju, pa je zato uputno izvršiti odgovarajuća ispitivanja na betonskim gredama.

f) Zastor kolnika od običnog tucanika

U takvom zastoru kolnika nastaje habanjem katkada ljepljiva masa, koja otvrdne, i ne samo da ispuni prazne šupljine u zastoru nego mu daje i veću otpornost. Za kamen se tada kaže da »dobro veže« (uporedi str. 82). V e s p e r m a n n (1934.) dijeli takvo ka-

menje prema sposobnosti međusobnog vezanja njegovih komada u zastoru kolnika ovako:

1. Čvrsto i dobro vežu: bazalt, porfir, granit, vapnenjak i t. d.
2. Čvrsto ali suho vežu: gabro, diorit, sijenit, amfibolit, kvarcit, sivac (grauvaka), kajper-pješčar i t. d.
3. Manje čvrsto ali dobro veže: ljušturni vapnenjak.
4. Manje čvrsto ali suho veže: šareni pješčar i drugi pješčari.

g) Građenje cesta s vodenim staklom

Cesta sagrađena s vodenim staklom ima ograničenu primjenu. Takav put nije za vlažne i ne sunčane krajeve, kao ni za teški saobraćaj.

A. Peter (1928.) izvještava o iskustvima na takvim putevima u Švicarskoj Juri. Put od tvrdog vapnenjaka s vodenim staklom, uz srednji dnevni saobraćaj od 400 do 500 tona, nije zadovoljio, i morali su ga poslije godinu dana zaliti katranom. Srednje tvrdi tucanik nije također bio dobar. Tucanik od mekanog vapnenjaka naprotiv pokazao je pri srednjem dnevnom opterećenju od 350 tona daleko manje habanje, ali putevi izgrađeni takvim kamenom lako se kvare za jakih kiša i postaju klizavi. Općenito uzevši, samo ako se raspolaže dobrim kamenom, i ako dnevni saobraćaj ne prelazi 300 tona, može se preporučiti građenje puta s vodenim staklom.

Za građenje puta s vodenim staklom (silikatni put) ne preporuča Grengg kamen, koji apsorbira alkalija iz vodenog stakla, i time uzrokuje izlučivanje kremičnog dioksida u obliku gela; takvima smatra svaki kaolinizovani kamen, mnoge bazalte i srodne mlade efuzivne stijene. Za takve zastore puteva povoljno je, ako kamen ima što veću i reaktivniju površinu.

Općenito za tu svrhu dolaze u obzir vapnenjaci i dolomiti bez glinene supstance, s malo pukotina ili bez njih, s čvrstoćom preko 1000 kg/cm^2, s hrapavim prelomom, i najzad postojani na smrzavanju.

F. NEKOJE UPUTE O UZIMANJU UZORAKA ZA ISPITIVANJE I NABAVKU PRIRODNOG KAMENA

a) Uzimanje uzoraka u kamenolomu

Uzimanje uzoraka na mjestu, u kamenolomu, obavljamo tada, kad nam nalazište nije još potanje poznato, i kad se želimo uvjeriti, da li je kamen pogodan ili nije pogodan za građenje ceste za određenu vrstu saobraćaja.

Izvađeni komad mora u svakom pogledu predstavljati »uzorak« kamena s toga nalazišta. Samo u rijetkim slučajevima može se uzeti, kako se kaže »prosječni ili srednji uzorak«. Po pravilu treba prije petrografski ispitati i upoznati sve vrste kamena i promjene na njima i to prema svrsi za koju će biti primijenjeni. Zbog toga ih treba odijeljeno istraživati. Upozorava se na očigledno zgnječene zone poremećenja, koru površinskog trošenja i t. d.; već prostim okom možemo se uvjeriti da je takav kamen neuporabiv. Na pukotine u kamenu treba strogo paziti.

Na komadima kamena za ispitivanje treba zabilježiti mjesto s koga su uzeti, kao i njihov položaj prema slojnim plohama i pukotinama. Ako se kamen ne raspada u suviše velike komade tada između takvih komada odabiramo jedan ili više uzoraka za ispitivanje. Treba izbjegavati komade, koji su oštećeni vađenjem, lomljenjem ili obrađivanjem. U važnim slučajevima treba staviti pečat na same uzorke za ispitivanje ili na njihove omote, da se izbjegne nehotičnu ili hotimičnu zamjenu (!).

Broj uzoraka za ispitivanje zavisi među ostalim od svrhe kojoj će kamen poslužiti, kao i od svojstava kamena. Od krupnozrnog kamena uzima se veće uzorke za ispitivanje nego od sitnozrnog,

od tucanika manje nego od kamena za tesanje. Koliko je uzoraka potrebno za ispitivanje može se približno reći:

za kamen pločenik: 10 velikih ili oko 25 malih kocaka;
za lomljeni kamen: 3 neotesana komada veličine 30×30×30 cm;
za tucanik: oko 50 kg sa česticama veličine 40 do 50 mm, i tri velika komada po 20 × 20 × 30 cm.

U kamenolomu u kome ima prelaznih odlika kamena dovoljno je uzeti odgovarajuću količinu od glavne vrste kamena; od svih ostalih odlika treba uzeti manje komadiće samo za mikroskopska ispitivanja.

Obilazak kamenoloma je važan i zbog prosuđivanja njegovoga kapaciteta. Velike narudžbe se ne daju malim kamenolomima, čiji je daljnji razvitak nesiguran, i za koje postoji bojazan, da ne bi mogli u propisanom roku izvršiti narudžbu. Građevni poduzetnik mora biti siguran da će pravovremeno dobiti potrebnu količinu jednoličnog građevnog materijala.

Poslije ispitivanja uzoraka odrede se mjesta u kamenolomu, na kojima je sporno vađenje kamena.

b) Uzimanje uzoraka od poslanog kamena i preuzimanje kamena

Na sličan način se postupa i pri uzimanju uzoraka od poslanog kamena (pokusna ispitivanja).

Za građenje cesta bilo bi najbolje da se kamen općenito preuzme u kamenolomu. Inženjer postupa slično pri nabavljanju čelika, željeza, cementa i t. d. Predstavnik uprave za građenje cesta ili predstavnik poduzeća (geolog, petrograf, iskusan inženjer koji znade petrografiju!) treba da uporedo s proizvađanjem preuzima u kamenolomu tucanik, kamenu sitnež, kamenu kocku, lomljeni kamen i t. d. On treba da odvaja na mjestu proizvodnje loš materijal, nepravilno obrađen i rastrošen, i preuzima samo dobar materijal, čime će upravi kamenoloma smanjiti prevozne troškove. Sporovi između preuzimača i dobavljača nisu time doduše sasvim odstranjeni, ali su ipak umanjeni. Preuzimanje kamena vrši se osim toga izvan građevnog mjesta, na kome obično nema dovoljno prostora. Vraćanje lošeg materijala uzrokuje povremeni zastoj u opskrbljivanju građevnog mjesta kamenom. Ugrađivanje se odvija lakše i brže ako se ne mora paziti na tehničku vrijednost poslanog materijala. Prisutnost preuzimača na mjestu proizvodnje mnogostruko je korisna kako se to već i potvrdilo na mnogim gradnjama.

DODATAK

Postupak za brzu prethodnu procjenu vrijednosti kamena za suvremeno građenje cesta

Promatrana svojstva	Procjena	
	dobra	loša, odnosno sumnjiva
Boja	sjajna, manje ili više izrazita, stalna	mutna, hrđasta, prljava, pjegasto-hrđasta, bijele pjege sa bijelim nastavcima na tamnoj osnovi (na pr. „sunčane pjege"), brze promjene
Miris hukanjem	bez mirisa	jak miris po zemlji i glini (na pr. kaolinizirani glinenci, laporovito ili glinovito vezivo u pješčarima)
Svježa površina na prelomu	ravna površina, plitko-školjkast prelom, hrapava površina, jednolična	nejednoliko kukasta do iverasta, duboko školjkasta, krupičasta (na pr. „sunčane pjege"), jako glatka (slaba prionjivost veziva), staklasta (kamen u taracu postaje klizav), zemljasta, jamičasta
Vanjski izgled	napravilan, masivan	pjegav, jako kvrgav, fino škriljav, jako naglašen u jednom smjeru

Promatrana svojstva	Procjena	
	dobra	loša, odnosno sumnjiva
Mineralni sastav	zrna kremena, svježeg amfibola, augita, granata; umjerena količina glinenca sa sjajnim plohama kalavosti ili cjepljivosti	sulfidi (pirit i t. d.), mnogo tinjca, mutni ili zemljasti glinenci); možemo ih parati noktom
Tvrdoća	najveći dio minerala u kamenu ne možemo parati nožem	najveći dio minerala možemo parati nožem; to se ne odnosi na vapnenjak, dolomit, serpentin
Čvrstoća	kamen teško obrađujemo čekićem; žilav kamen, sa čvrstim bridovima; plosnate ulomke je teško razbijati; ne pušta boju	vrlo krhak; lako se razbije; na bridovima i plosnatim krhotinama se lako lomi; bojadiše (vapnovit, glinovit, grafitičan)
Lučenje	pukotine lučenja daleko među sobom, pravilno, četverostrano, stubasto	pukotine lučenja blizo među sobom, nepravilno raspadanje, sitnokuglasto lučenje
Slog i struktura	što gušće zbijen	šupljikav, poput šlake, pjene, mjehurićast, cjevast
Težina vaganjem u ruci	težak	lagan
Veličina zrna	fino-, sitno-zrnat i srednje veličine zrna	krupno i grubo zrnat
Svojstva minerala i njihovo stanje	bez pukotina sjajni bezbojni	sa pukotinicama (na pr. sanidin, olivin); mutan; kasnije obojen, često hrđast; izblijedio (biotit)
Kora trošenja na starijim komadima	nema je, ili ako je ima, tad je tanka	debela kora trošenja, postala svjetlije bojena (u tamnom kamenu), ili tamnija u jezgri (u svjetlijem kamenu); najčešće zelenkasto-smeđa do boje koju ima hrđa
Tuđe primjese	nema	ulošci gline i mineralni uklopci razne vrste

IZBOR LITERATURE

Andreasen A. H. M., Untersuchungen über d. Bestimmung d. Grösse v. losen Körnern. 1. Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf. Zürich 1930.

Bartel J., Zusammenhang zw. d. Deformationserscheinungen i. d. Zug-u. Biegeprobe. 1. Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Zürich 1930. S. 31.

Barton Wm. H. and Doane Louis H., Sampling and testing of highway materials. Mc Graw-Hill Book Co. Inc. New York 1925.

Bauschinger, Untersuchung über d. Elastizität u. Festigkeit d. wichtigsten, natürl. Bausteine i. Bayern. Mitt. mechan. techn. Laboratorium Techn. Hochschule München, H. 10, 1884.

Becket J. L., Some notes on concrete roads. Surveyor 1934, 85 (2193), S. 187/188.

Berg Georg, Über die Bewertung v. natürlichen Gesteinen f. bautechnische Zwecke. Abh. z. prakt. Geol. u. Bergwirtschaftslehre 1928, Bd. 15.

Brinell J. A., Technisk Tidshrift 1900.

Burchartz H. G., Saenger u. K. Stöcke, Technische Gesteinprüfung. Zusammenhänge zwischen petrogr. Beschaffenheit u. physikal.-techn. Eigenschaften. 1933, 23 S., H. 358.

Clement, Kalkstein als neuzeitl. Strassenbaustoff. Mitt. d. Auskunfts-u. Beratungsstelle f. Teerstrassenbau, Essen 1933, H. 8.

Dänische Staatsprüfungsanstalt, Über d. Prüfung d. mechan. Abnützung. 1. Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Zürich 1930.

Dow A. W., Wie sich d. Adsorption d. Asphaltes durch verschiedene Mineralzuschläge ändert. Asphalt u. Teer. 1928. H. 20.

Endell, Über d. Einwirkung hoher Temperaturen auf erhärteten Zement, Zuschlagstoffe u. Beton. Zement 1926, H. 45.

Erlinger E. u. Kostron H., Die Frostdauer bei d. Frostprobe an Baustoffen. Tonind.-Ztg. 1933, H. 34.

Fill R., Über eine neue Art d. Wasseraufnahmebestimmung an natürlichen Gesteinen. Geol. u. Bauwes., 6 Jhrg., 1934, H. 3.

Fillunger P. Theorie d. Raumgewichtsbestimmung. Mitt. staatl. techn. Versuchamt. Wien, 10, 1921, H. 1/2, S. 33-40.

Föppl A. Mitt. mech.-techn. Laboratoriums München, 1906, H. 30.

Fritz Otto, Kalksteine u. Dolomite als Strassen- u. Eisenbahnbaumaterialien. S. A. ohne Jhrg. — Hartgestein. Strassenbau 1931, H. 25.

Gaber, Neuere Verfahren technischer Gesteinprüfung. Z. deutsch. Geol. Ges. H. 6 Bd. 81. Berlin 1929, H. 6 Bd. 82. 1930.

Gonell, Einfluss verschiedener Füllstoffe auf Bitumen. Z. Bitumen 1934.

Graf Otto, Über Versuche z. Ermittlung d. Widerstandes v. nichtmetallischen Baustoffen gg. Abnützung. Strassenbau, 18, 1927, H. 33, S. 563-567.

Graf Otto, Untersuchungen über d. Widerstandsfähigkeit v. Mörtel u. Beton f. grosse Bauwerke u. f. Zementwarenfabriken. 1. Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Gruppe B. Zürich 1930, S. 88.

Grengg R., Über zweckmässige Darstellung d. Prüfungsergebnisse v. natürlichen Gesteinen. 1926. H. 24.

Grengg R., Über d. Untersuchung v. Bausteinen u. Strassendeckstoffen. Strassenbau 1927.

Grengg R., Über Fehlerquellen beim Erproben v. natürlichen u. künstlichen Gesteinen auf Druckfestigkeit. Mitt. Techn. Versuchsamt. Wien 1927.

Grengg R., Einiges über d. Baustoffe d. Wasserglasstrasse. Strassenwes.. 1931.

Grün Richard, Der Beton. Berlin, Julius Springer, 1926.

Hasz Alexander, D. techn. Möglichkeiten z. Verbilligung d. Betonstrassenbeläge i. Ungarn. Strassenwes., 7 Jhrg., 1934, H. 3.

Hirschwald J., Die Entwicklung d. Baugesteinprüfung a. d. ehemaligen Versuchsanstalt u. d. gegenwärtigen Prüfungamt zu Berlin, 1912.

Hirschwald J. u. Brix J., Untersuchungen an Steinschlagdecken behufs Gewinnug einer Grundlage f. d. Prüfung d. natürlichen Gesteine auf ihre Verwendbarkeit als Strassenbaumaterial. Bautechn. Gesteinunters. H. 8, Berlin 1921.

Hoeffgen H., Abgekürzte Verfahren z. mechan. Prüfung v. Strassenbaugesteinen. Dissert. Karlsruhe 1929, 54 S.

Holler K., Zeolith in Eruptivgesteinen. Ein Beitrag zum Problem des »Sonnenbrandes«. Z. prakt. Geol., 38. Jhrg. 1930, H. 2, S. 17-20.

Honigmann E. J. M., Zur frage d. Frostprobe in d. Materialprüfung. Z. öst. Ing.-u. Arch.-Ver. 1932, H. 9/10, S. 44-46.

Jelčaninov M. G., Der Einfluss d. Lehmbeimengungen i. Sand auf d. mechan. Eigenschaften d. Portlandzementmörtels. Zement 1930, H. 24.

Kieslinger A., Raumgewicht, Porosität u. Wasseraufnahme. Geol. u. Bauwes. 1931.

Kieslinger A., D. Färbemethoden i. d. Gesteinsuntersuchung. Geol. u. Bauwes. 1929, Bd. 1, H. 2.

Kieslinger A., Zerstörungen an Steinbauten, ihre Ursachen u. ihre Abwehr. Franz Deuticke, Leipzig u. Wien 1932.

Klein W., Petrograph. Untersuchungen über d. Eignung v. Basalten als Pflastermaterial. Mitt. Geol. Min.-Institut Univ. Köln 1932, 54 S.

Kleinlogel A., Nordamerikanische Betonstrassen. Übersicht über d. heutigen Stand d. Betonstrassenbaues i. d. Vereinigten Staaten. 1925.

Knight B. H., The interpretation of physical tests of roadmaking stones. Good Roads 1933, 9 (11), 291-293.

Kosetschek L., Teermischmakadam u. Teerbeton, Unterschiede u. maschinelle Ausführung. Strassenwesen, 3. Jhrg. H. 7, 1930, S. 20.

Krüger K., Mineraltechnik f. Bauingenieure. Allg. Ind.-Verlag. G. m. b. H., Berlin 1929.

Krüger K., Über mineralische Baustoffe. Fortschritte im Städte- u. Strassenbau, Bd. 1, S. 30, Asphaltstrassenbau, Leipzig 1926.

Krüger K., Abnutzbarkeit durch Schleifen. Strassenbau 1930, H. 33, S. 588-593.

Krüger K., Das Zuschlaggestein i. Strassenbau. Steinindustrie 1930, H. 15.

Le Gavriau, Les chaussées modernes, 1932.

Leppla A., Über d. sogenannten Sonnenbrand d. Basalten. Z. prakt. Geol. 1901.

Ludwik P., Zäh oder spröde. Metallwirtschaft, 8 Jhrg. H. 36, 1929, S. 872-875.

Maddalena R., Geological and Petrographical Studies inherent to the Execution of Important Railroads Works in the Apennines Tosco-Bolognese. Wld. Eingineering Congress, Tokyo 1929, Paper 572.

Marcotte E., Les pierres naturelles et artificielles. Paris 1928.

Niggli P., Neuere Untersuchungen über Strassenbaustoffe u. ihre Bewertung in Deutschland u. Osterr. Schweiz. Z. Strassenwes. 1928, H. 1.

Niggli P., D. Mitarbeit d. Mineralogen u. Petrographen bei d. technischen Baustoffprüfung. Schweiz. Bauztg. 1930, H. 18.

Niggli P., Mitwirkung d. Mineralogen u. Petrographen bei d. Beurteilung d. natürl. u. künstl. Bausteine u. Strassenbaumaterialien. 1. Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Zürich 1930.

Oberbach J. D., Sand i. neuzeitlichen Strassenbau. Steinbruch u. Sandgrube 1929.

Nandelstaedt, Fehlerquellen bei Kleinpflasterungen. Strassenbau, 25 Jhrg.

Peter A., Wasserglasstrassen. Schweiz. Z. Strassenwes. 1928, H. 4.

Pollack V., Verwitterung in d. Natur u. an Bauwerken. Wien 1923.

Preslicka A., Die Silikatstrasse. Halle 1930.

Prouty F. Wm., Roads and Road Materials of Alabama. Geol. Survey of Alabama, Bull., Nr. 11, 1911, 135 S.

Quervain F. de, Petrograph. Untersuchungen an Schotter-u. Pflastersteingut. et c. Schweiz. Mineral. u. petrogr. Mitt. Bd. 11, 1931, H. 2.

Quervain F. de, und Gschwind M., D. nutzbaren Gesteine d. Schweiz. Bern 1934.

Riepert, Betonstrassenversuche in Pittsburg u. Arlington. Zement-Verlag G. m. b. H. 1925.

Riepert, Automobilstrassen in Amerika. Zement-Verlag G. m. b. H. Charlottenburg 1925, 21 S.

Romanowicz H. u. Honigmann E., Aus d. Praxis d. Baustoffprüfers. Mitt. Techn. Versuchsamt. Wien 1932.

Rosival A., Über geometrische Gesteinanalysen. Verhandl. geol. Reichsanstalt. Wien 1898.

Rothfuchs, Prüfgutmenge bei Schotterprüfungen. Steinindustrie 1931, H. 14.

Roš M. u. Eichinger A., Versuche zur Klärung d. Bruchgefahr nichtmetallischer Stoffe. Eidgenöss. Matt.-Prüf. Anst. a. d. Techn. Hochschule Zürich 1928.

Roš M. u. Eichinger A., Begriffliche u. prüfmeth. Beziehungen zw. Elastizität, Plastizität, Härte u. Zähigkeit. 1. Mitt. d. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Zürich 1930.

Roschowa E. W. u. Pokrowskaja T. L., Die Bestimmung opaker Mineralien in Sanden. Zbl. Mineral. Geol. Paläont. A. H. 1, 1934.

Sander B., Gefügekunde d. Gesteine m. bes. Berücksichtigung d. Tektonite. Berlin 1930.

Sander B., Felkel E., Drescher F. K., Festigkeit u. Gefügeregel am Beispiele eines Marmors. N. Jb. f. Mineral Geol. Paläont. Bd. 59, Abt. A. 1929.

Seipp H., Die abgekürzte Wetterbeständigkeitsprobe d. natür. Bausteine. Frankfurt 1905, H. Keller.

Schlyter R., Materialprüfungen für Strassenbauzwecke. Tonind.-Verlag. 1927.

Schlyter R., Materialprüfungen für Strassenbauzwecke. Tonind. Ztg. H. 73.

Schmeer F., Zuverlässigkeit d. Prüfung v. Gesteinen auf Schlagfestigkeit. Steinindustrie 1931, H. 26.
Schneider E., Warum Hartgestein f. neuzeitl. Strassendecken? Strassenbau 1933.
Schneider E., Basalt u. Granit i. Strassenbau, Asphalt- u. Teerind.-Ztg. 1927.
Schmölzer A., D. Vorkommen nutzbarer Gesteine Österr. unter bes. Berücksichtigung d. Bedürfnisse d. Strassen-u. Betonbaues. Wien 1930.
Schuloff W., Die Herstellung neuzeitl. Strassenbeläge a. d. öst. Bundesstrassen i. Jahre 1928. S. 453. Z. öst. Ing.-u. Arch.Ver. 80 Jhrg. Nr. 45/46, 1928.
Shand S. J., J. Geol. Chicago, 24, 1916.
Sibirsky W., Die Methode d. Fraktionirung d. Minerale d. Bodenskeletts. Soil res, 1932, 2 Bd. 3.
Smekal A., Festigkeit u. Molekularkräfte. Z. öst. Ing.-u. Arch.-Ver. 1922, H. 50/52.
Spaček, Frostbeständigkeit von Natursteinen. Allg. Bauztg. Bd. 8, 1931, H. 311.
Stern O., Neue Grundlagen d. Betonzusammensetzung. Wien 1930. Ing.-u. Arch.-Ver.
Stern O., Die Kornpotenzwaage u. ihre Anwendung, 24 S. ohne Jahreszahl.
Steuer A., Wie erklärt es sich, das sich Gesteine bergfeucht besser u. leichter m. ebenen Flächen bearbeiten lassen als solche d. ausgetrocknet sind? Steinbruch, 9 Jhrg., H. 34.
Stiny J., Zur Färbung von Zerrütungstreifen. Geol. u. Bauwesen, 1 Bd. 1929. H. 3.
Stiny J., Technische Gesteinkunde. Wien 1929.
Stiny J., Ingenieurgeologisches aus Sardinien. Geol. u. Bauwes., 1 Jhrg. H. 3 1929, S. 157-170.
Stöcke, Ist d. Verfahren Föppl zur Prüfung v. Gesteinen auf Schlagfestigkeit nach DIN-Entwurf DVM 2107 unzuverlässig? Steinindustrie 1931 H. 25.
Schob A., Begriffliche u. prüfmethodische Beziehung zw. Elastizität, Zähigkeit u Sprödigkeit. 1 Mitt. Neuen Intern. Verb. Mat.-Prüf., Zürich 1930.
Tornquist A., Eignung von i. Steiermark u. Kärnten vorkommenden Gesteinen f. d. neuzeitl. Strassenbau. Strassenwes. 1929. H. 8.
Tertsch H., Zur frage d. Spaltbarkeit. Tschermaks Mineral. u. Petrogr. Mitt., 35 Bd. 1921.
Valina K., D. Betonmosaikstrasse — d. Strasse d. Zukunft. Städt. Tiefbau 1928. H. 6.
Vespermann, Verwendung von Hart-u. Weichgestein sowie künstl. Gesteinen bei neuzeitl. Strassendecken. Steinind. u. Strassenbau 1934.
Vespermann, Kleinpflaster nach d. Erfahrungen d. Praxis u. wirtschaftlicher Vergleich m. anderen Bauweisen. Strassenwesen, 3, 1930.
Vespermann. Teermakadam als neuzeitl. Fahrbahnbelag. Allg. Ind.-Ver. Berlin 1926.
Wieland G., und Stöcke H., Merkbuch f. d. Strassenbau. Berlin 1934.
Winter A., Basalt v. Pullendorf i. Burgenland als Pflasterstein u. Schottergut. Architektur und Bautechnik H. 17. 1931. 18 Jhrg.
Wood, Modern Road Construction. 1920 London.
Zelter W., Petrografische Untersuchung über die Eignung von Graniten als Strassenbaumaterial. Halle (Saale) 1927.

SADRŽAJ

Izdanje i tisak *Nakladnog zavoda Hrvatske*, Zagreb, Frankopanska 26 — Za izdavača *Dr. E. Musić* — Tehnička redakcija *Zlatko Orban* — Naklada 5000 primjeraka.

Cijena Din 34·50

33133